

DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DEL CÁRTER, BLOQUE Y CULATA DE
UN MOTOR ROBIN EY-25

LUIS FELIPE CORREA HOYOS 1112771557

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROGRAMA: INGENIERÍA MECÁNICA
PEREIRA

2018

DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DEL CÁRTER, BLOQUE Y CULATA DE
UN MOTOR ROBIN EY-25

LUIS FELIPE CORREA HOYOS 1112771557

Trabajo de grado para optar el título de
Ingeniero Mecánico

Director

M. Sc Edison Henao Castañeda

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROGRAMA: INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA

2018

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA DEL JURADO

AGRADECIMIENTOS

A todos aquellos que se hicieron partícipes en el trayecto y la culminación de este logro, en especial a las siguientes personas:

A mis padres Cruz Elena Hoyos y Hugo Correa por el apoyo y consejos brindados a lo largo de este camino que termina con este gran logro, que sin ellos no sería posible. A mi madre Cruz Elena en especial por ser un ejemplo de lucha durante su vida y gracias a ese ejemplo de vida me siento preparado para afrontar los obstáculos que me llegan día a día

Al ingeniero Edison Henao por su dedicación y buena orientación en el desarrollo del presente trabajo.

A mi futura esposa Katherine Naranjo que desde el momento que hizo parte de mi vida me brindó su apoyo, consejos y comprensión para poder culminar la última etapa de mi carrera.

A mis compañeros y amigos Luisa Salazar, Víctor Botero y Juan Camilo Arbeláez por la motivación y el acompañamiento que me brindaron en este proceso.

A los profesores de la Facultad de Ingeniería Mecánica como también a la Universidad Tecnológica de Pereira por generar el espacio para que sus educandos puedan cumplir sus objetivos.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. GENERALIDADES SOBRE EL DISEÑO DE BLOQUE, CÁRTER Y CULATA DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA	16
1.1 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES ESTRUCTURALES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	17
1.1.1 BLOQUE DEL MOTOR.....	18
1.1.2 CULATA.....	18
1.1.3 CÁRTER.....	19
1.2 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE UN MCI	19
1.3 CARACTERÍSTICAS DE PAR Y POTENCIA DE UN MCI	22
1.4 MANUFACTURA DEL BLOQUE, CÁRTER Y CULATA DEL MOTOR MODULAR CON RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE	23
1.4.1 DESIGNACIÓN DE SERVICIO.....	24
1.4.2 SUPERFICIES OPERATIVAS	24
1.4.3 LEYES DE MOVIMIENTO Y FUERZAS ENTRE LAS SUPERFICIES OPERATIVAS.....	24
1.4.4 PROCESOS TECNOLÓGICOS PARA LA MANUFACTURA	25
1.4.5 EXACTITUD DE LAS PIEZAS QUE COMPONEN UNA MÁQUINA	26
1.4.6 OBTENCIÓN DE LA CALIDAD DE MAQUINARIA	27
1.5 PROCESOS DE MECANIZADO	29
1.5.1 GENERACIÓN DE SUPERFICIES	30
1.6 PROCESO DE ENSAMBLE DE UNA MÁQUINA.....	31
2. DISEÑO DE BLOQUE, CULATA Y CÁRTER DE UN MCI	32
2.1 CONCEPTO DE DISEÑO DE MOTOR MODULAR PARA RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE.	33
2.2 ALTURA DE CÁMARA DE COMBUSTIÓN PARA APLICAR LA VARIACIÓN DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN (h)	35
2.4 FUERZAS SOBRE BLOQUE DE MOTOR.....	38
2.4.1 PRESIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN PARA LAS DIFERENTES RELACIONES DE COMPRESIÓN	38

2.4.2 FUERZAS APLICADAS AL BLOQUE Y CÁRTER DEL MOTOR MODULAR.....	42
2.4.3 FUERZAS EN LOS APOYOS DEL CIGÜEÑAL.....	44
2.5 CÁLCULO DE PARED DE LA CAMISA DEL MOTOR MODULAR.....	47
2.6 SIMULACIÓN DE ESFUERZOS.....	49
2.6.1 PIEZAS PARA EL ANÁLISIS EN SIEMENS NX.....	50
2.6.2 MATERIALES UTILIZADOS.....	50
2.6.3 VALIDACIÓN DE MALLADO DE PIEZAS ANALIZADAS.....	51
2.6.4 ANÁLISIS ESTÁTICO DE PIEZAS MOTOR MODULAR.....	55
3. SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE MANUFACTURA.....	58
3.1 DETERMINACIÓN DE EXACTITUD DEL ESLABÓN DE CIERRE.....	58
3.1.1 UNIONES CRÍTICAS PARA EL PROCESO DE ENSAMBLE Y FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR MODULAR.....	58
3.1.2 MÉTODO DE ASEGURAMIENTO DE LA PRECISIÓN DEL ESLABÓN DE CIERRE DE LAS UNIONES DE ENSAMBLE CRÍTICAS.....	61
3.2 PROCESO DE ENSAMBLE DE CÁRTER INFERIOR Y SUPERIOR.....	65
3.3 PROCESOS TECNOLÓGICOS UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DEL MOTOR MODULAR.....	67
3.3.1 SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS Y DATOS DE CORTE.....	68
CONCLUSIONES.....	70
BIBLIOGRAFÍA.....	71
ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Ilustración 1. Motor robin EY-25 de 3,5 HP	17
Ilustración 2. Geometría de cilindro, pistón, biela, cigüeñal de un MCI	20
Ilustración 3. Etapas de una cadena de producción de una máquina	23
Ilustración 4. Cadena dimensional de una superficie de trabajo del motor modular	28
Ilustración 5. Máquinas y movimientos relativos pieza-herramientas.....	30
Ilustración 6. Transformación de MCI comercial a modular	32
Ilustración 7. Esquema cinemático clásico del motor de combustión interna	33
Ilustración 8. Esquema cinemático del motor modular para variación de relación de compresión.....	34
Ilustración 9. Variación de presión de gases motor robin EY-25.....	39
Ilustración 10. Variación de presión de gases motor modular RC 12(Gasolina extra).	40
Ilustración 11. Variación de presión de gases motor Modular RC 14(Etanol).	41
Ilustración 12. Fuerza internas de mecanismo biela-manivela.....	42
Ilustración 13. Diagrama de cuerpo libre de cigüeñal.....	45
Ilustración 14. Diagrama de fuerzas en apoyos de cigüeñal y eje excéntrico	46
Ilustración 15. Esquema de acción en apoyos de eje excéntrica	46
Ilustración 16. Piezas caja superior motor modular.....	50
Ilustración 17. Piezas caja superior motor modular.....	50
Ilustración 18. Variación de esfuerzo medio pieza móvil 21	51
Ilustración 19. Malla pieza móvil 21.....	52
Ilustración 20. Variación de esfuerzo medio pieza móvil 11	52
Ilustración 21. Malla pieza móvil 11.....	53
Ilustración 22. Variación de esfuerzo medio pieza cárter posterior	53
Ilustración 23. Malla pieza cárter posterior.....	54
Ilustración 24. Variación de esfuerzo medio pieza cárter lateral	54
Ilustración 25. Malla pieza cárter posterior.....	55
Ilustración 26. Resultado de simulación pieza 21.....	55
Ilustración 27. Resultado de simulación pieza 11.....	56
Ilustración 28. Resultado de simulación pieza cárter posterior.....	56
Ilustración 29. Resultado de simulación pieza cárter lateral.....	57
Ilustración 30. Ensamble cárter inferior (Alojamiento eje excéntrico)	59
Ilustración 31. Ensamble cárter inferior con placa móvil (Alojamiento eje excéntrico).....	60
Ilustración 32. Ensamble placa lateral cárter inferior	61

Ilustración 33. Cadena dimensional para ensamble placa lateral cárter inferior....	61
Ilustración 34. Placa móvil a cárter inferior.....	63
Ilustración 35. Cadena dimensional para ensamble placa móvil cárter inferior	64
Ilustración 36. Ensamble de cárter inferior y apoyo del cigüeñal.....	65
Ilustración 37. Ensamble de soporte del cigüeñal y cárter superior	65
Ilustración 38. Grupos y ruta de ensamble motor modular	67

INDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Datos típicos de diseño y operación de MCI	21
Tabla 2. Rango de presión media efectiva dependiendo del tipo de motor	22
Tabla 3. Características motor robin EY25.....	33
Tabla 4. Correlación de combustible y relación de compresión	35
Tabla 5. Geometría motor modular RC=8	36
Tabla 6. Geometría motor modular RC=12	36
Tabla 7. Geometría motor modular RC=14	37
Tabla 8. Variación de relación de compresión para motor modular	38
Tabla 9. Ecuación estequiometria para gasolina y etanol	39
Tabla 10. Datos de entrada de programa de diseño MCI.....	43
Tabla 11. Fuerzas internas de motor modular para máxima presión de gases de combustión	44
Tabla 12. Propiedades de Materiales de Siemens NX	50
Tabla 13. Propiedades de Material utilizado en modelo físico motor modular	51
Tabla 14. Ajustes principales según la funcionalidad de la unión entre piezas	60
Tabla 15. Valores del coeficiente de riesgo $t\Delta$	62
Tabla 16. Valores del coeficiente de dispersión relativa λ_{Ai2}	62
Tabla 17. Listado de piezas del cárter y apoyo del cigüeñal	66
Tabla 18. Calidad de procesos de formación por arranque de material	67
Tabla 19. Velocidades de corte y avances para aluminio y herramienta de acero al carbono.	68
Tabla 20. Valores de velocidad periférica de pieza y muelas para rectificado	69

LISTA DE VARIABLES

MCI: Motor de combustión interna

MCIA: Motor de combustión interna alternativo

RCV: Relación de compresión variable

PMS: Punto muerto superior

PMI: Punto muerto inferior

S: Carrera del pistón

D: Diámetro del pistón

L: Longitud de la biela

R: Radio de la manivela

RC: Relación de compresión

η : Eficiencia

PMS: Punto muerto superior

PMI: Punto muerto inferior

A_p : Área del pistón

RESUMEN

En este proyecto se presenta el desarrollo tecnológico del cárter, bloque y culata para un motor de combustión interna diseñado en la Universidad Tecnológica de Pereira y que puede variar su relación de compresión mediante cambios en el volumen muerto. Además, se realizan los cálculos estáticos y de esfuerzos para los apoyos del cigüeñal y eje excéntrico, considerando en el análisis la utilización de combustibles como el etanol y gasolina.

Se utiliza un programa en Excel diseñado en el curso de Máquinas de Combustión interna del programa de Ingeniería Mecánica para calcular la fuerza de los gases considerando diferentes relaciones de compresión, finalmente diseñando para la relación de compresión donde las fuerzas de los gases sean las mayores. La simulación de los esfuerzos sobre las placas principales del bastidor son efectuadas con la ayuda del software Siemens NX.

Se aplican procesos tecnológicos para la elaboración de las piezas y asegurar las medidas básicas de funcionamiento, garantizando tolerancias dimensionales, geométricas y de superficie de las superficies operativas críticas que tienen movimientos relativos. Para culminar se realizan los planos y las rutas de trabajo necesarias para la fabricación de las piezas de un motor modular para relación de compresión variable.

INTRODUCCIÓN

Los motores de combustión interna (MCI) desde su invención a mediados de los años 1800 se han convertido en pilar fundamental para el desarrollo de la vida humana, sin embargo, el beneficio que se obtiene de los mismos lleva consigo un costo a nivel ambiental y operacional, el cual la humanidad en cabeza de sus organismos de control debe prever para el correcto equilibrio entre el precio que se debe pagar y el bien que se consigue.

La adopción y uso continuo del motor de combustión interna en diferentes áreas de aplicación se da por su costo relativamente bajo, su favorable relación en peso, su eficiencia, las características de funcionamiento relativamente sencillas, su amplio rango de potencias, la posibilidad de quemar combustibles líquidos con poder calorífico elevado y su buena autonomía sin conexión ni nada que lo ate a un punto fijo.

El diseño y la fabricación de un motor de combustión interna se fundamentan en la necesidad de generar mayor potencia con el menor consumo de energía química en cada ciclo, para esto se enfatiza en componer mejores mezclas de aire-combustible acompañado de un peso mínimo de sus componentes y menor resistencia al movimiento de las partes internas que tienen contacto entre ellas, por lo cual se busca trabajar con materiales adecuados con buenas propiedades anti fricción, eficiencia eléctrica, peso mínimo y que soporten temperaturas cada vez mayores.

Los desarrollos tecnológicos recientes han puesto al motor de combustión interna en una posición complicada, ya que su eficiencia energética es baja y con altas emisiones contaminantes como el CO_2 . Estas características en la actualidad se presentan como parámetros críticos de diseño para este tipo de máquina motriz y a la par para las nuevas tecnologías que utilizan energías eléctricas generadas a partir de fuentes renovables y combustibles derivados de productos alimenticios (biomasas).

La utilización de combustibles más amables con el ambiente como el etanol disminuyen hasta en 4 veces el escape CO_2 que deriva del proceso de combustión, para esto se trabaja en el aumento de eficiencia en el consumo de combustible con relaciones de compresiones altas, ya que estos tipos de combustible disminuyen el autoencendido.

La fabricación de la culata, bloque y cárter de un motor de combustión interna posee relevancia debido a la fiabilidad que deben generar para mantener las condiciones de uso en las formas más útiles posibles y su régimen de trabajo por un tiempo considerable sin la necesidad de mantenimiento.

La disminución en los costos de fabricación, la mejora en la exactitud de las piezas, disminución de las inconformidades, adaptabilidad de las piezas de cambio, y el desarrollo de metodologías simples en la fabricación y ensamble aumentan la rentabilidad de construcción de los motores de combustión interna (MCI) buscando lograr un equilibrio entre el bien dado a la sociedad y su costo final de producto.

Se han realizado estudios en varias universidades buscando la implementación de aleaciones livianas a base de aluminio y magnesio que reducen hasta un 23% del peso original de un motor convencional por ende, se ve una reducción en el consumo de combustible y emisiones de CO₂, desarrollando nuevos métodos y equipos para la reducción de costos en las etapas de fabricación y mecanizados.

Para la fabricación de partes móviles y de la estructura de un motor de combustión interna existen varias metodologías, con diferentes técnicas que pueden generar características similares es su funcionamiento, pero con detalles que aumentan o disminuyen su eficiencia tanto mecánica como térmica y económica. La fundición y el mecanizado de las piezas del motor son los procesos más utilizados en la industria actualmente y la combinación de estos dos métodos dependiendo de las características de la parte del motor a fabricar da una buena opción para hacer eficaz su construcción y con las condiciones en sus medidas y tolerancias adecuadas.

El diseño de la estructura de un MCI se debe realizar con las especificaciones del mercado actual y enfocarlo en los elementos necesarios para un funcionamiento óptimo tanto en eficiencia y competitividad. El diseño de un MCI va de la mano de su proceso de manufactura y una planeación adecuada para la obtención de un elemento que cumpla con las necesidades planteadas.

En la manufactura del bloque de un motor la necesidad principal se centra en garantizar una exactitud dimensional y de posición relativa de los planos de los orificios de montaje y funcionamiento. Las máquinas herramienta representan una de las formas más eficientes que obtener las piezas acabadas y con elevada exactitud pero su proceso es lento en comparación a otros donde se puede obtener el bloque en bruto completamente.

El incremento de la competencia global, la creciente complejidad en los diseños, la diversidad de los procesos de fabricación y el deseo de reducir los tiempos y costos en el desarrollo de los productos hace necesario la integración entre el diseño y la fabricación, el proceso de fabricación paralelamente al proceso de diseño permite obtener diseños más eficientes desde el punto de vista de costo, calidad y tiempo de desarrollo. La ingeniería de producción interviene en la ejecución de la fabricación del cárter, bloque y culata de un MCI en, la planificación de la producción, selección de un sistema de fabricación flexible, la elección de los medios productivos, la selección de los procesos y la adopción de un eficiente sistema de gestión de calidad.

En este proyecto se desea obtener el diseño de una culata, bloque y cárter de un MCI, seleccionando un material adecuado que brinde una reducción de peso en comparación de los modelos tradicionales y a su vez cumpla la función de soportar las cargas a las que va a estar sometido, de igual forma se pretende establecer los procesos de manufactura adecuados para tener una eficiencia económica que compense el trabajo invertido en las etapas de fabricación

Para lograr este objetivo se realizara una evaluación de los posibles modelos a aplicar para obtener una manufactura sencilla y replicable en los talleres a disposición en la región y garantizando la intercambiabilidad de cada una de las piezas que lo compondrían.

Se realizara un estudio de cargas a las cuales estará sometida la estructura del motor y se establecerá si se cumplen estos parámetros mediante la aplicación de una simulación de cargar en cada pieza, evaluando la posibilidad de re diseñaras hasta cumplir el objetivo.

Se suministrarán los planos de fabricación y las rutas tecnológicas necesarias para aplicar en los centros de mecanizados disponibles y poder replicar las diferentes piezas con la calidad requerida.

El desarrollo del proyecto se dividirá en dos etapas, la primera de ellas la compone la revisión bibliográfica sobre las mejoras en los sistemas fijos del motor en tanto a materiales de fabricación como disposición de la estructura y disminución de tamaño. La segunda lo compondrá el diseño de la estructura, elaboración de planos, simulaciones y el re diseño dependiendo los resultados de las simulaciones realizadas.

Roussos [23] dice que la revisión bibliográfica tiene como objetivo el análisis de las publicaciones sobre el proyecto a ser realizado y en la cual evalúa:

- El grado de comprensión sobre el proyecto de investigación.
- El análisis y síntesis de las diferentes posturas históricas sobre el proyecto.
- Comparación de temáticas de las investigaciones en aspectos comunes que aún no se han realizado.
- El análisis histórico en relación al surgimiento y evaluación del tema.
- Descripción de diferentes técnicas utilizadas en la resolución de algún problema.

En su segunda etapa el proyecto se centra en el diseño de las partes fijas del motor (culata, bloque y cárter) enfocado en un diseño para manufactura y montaje.

El proyecto estará enfocado principalmente en el estudio de aspectos relacionados con la fabricación, el montaje y los costos respectando las funciones esenciales del producto e integrando de forma global la ingeniería de diseño y el desarrollo de productos y servicios, teniendo en cuenta el producto, los recursos humanos y materiales.

Con el desarrollo de este proyecto se adquirirá experiencia en los conceptos de diseño de motores de combustión interna, en sus etapas de cálculos y procesos de manufactura utilizados en la fabricación. Los resultados serán importantes para el desarrollo del conocimiento de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UTP en el campo del diseño, la manufactura y las metodologías utilizadas en el diseño de motores.

1. GENERALIDADES SOBRE EL DISEÑO DE BLOQUE, CÁRTER Y CULATA DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

La fabricación del cárter, bloque y culata de un motor de combustión interna (MCI), posee relevancia debido a la fiabilidad que deben generar para mantener las condiciones de uso en las formas más útiles posibles y su régimen de trabajo por un tiempo considerable sin la necesidad de mantenimiento.

Para la fabricación de partes móviles y del bloque, cárter y culata de un motor de combustión interna existen varias metodologías, con diferentes técnicas que pueden generar características similares es su funcionamiento, pero con detalles que aumentan o disminuyen su eficiencia tanto mecánica como térmica y económica.

El diseño del cárter, bloque y culata se debe realizar con las especificaciones del mercado actual y debe ser enfocado en los elementos necesarios para un funcionamiento óptimo tanto en eficiencia como en competitividad (Ruiz & Blanco, 2012), y para lograrlo su diseño va de la mano de su proceso de manufactura y una planeación adecuada para la obtención de un elemento que cumpla con las necesidades planteadas.

Tradicionalmente los MCI son manufacturados en un solo bloque que compone la culata, el cilindro y el cárter lo que representa complejidad en la formación de los componentes siendo necesario procesos como la fundición para replicar características complejas en su forma, de esta manera se decide realizar la fabricación por separado mediante grupos de piezas que facilitan la obtención mediante el mecanizado de placas y bloques de baja complejidad.

El diseño de un motor modular da la posibilidad de una fácil obtención de las piezas, intercambiabilidad, utilización de materiales estándar y un sencillo método de ensamblaje, que bajo el direccionamiento adecuado resulta rápido y de buena calidad. Aunque se pierde rigidez comparada con otros métodos de fabricación como el mecanizado y la fundición, con un buen diseño de sus componentes esto no será crítico para la integridad del conjunto estático del motor monocilíndrico.

La determinación de las tolerancias dimensionales, geométricas y de acabados superficiales agrupa parte esencial en el diseño del cárter, bloque y culata del MCI con el objetivo de mejorar su durabilidad y operación (CASSINI, 2005).

En la implementación de mejoras en los motores (sistemas de carga, control de autoencendido, tren de válvulas variables, relaciones de compresión variables) (Turner, Kalafatis, & Atkins, 2006) se crea la necesidad de obtener un nuevo diseño del bloque, cárter y culata del MCI que provea un mejor aprovechamiento de los

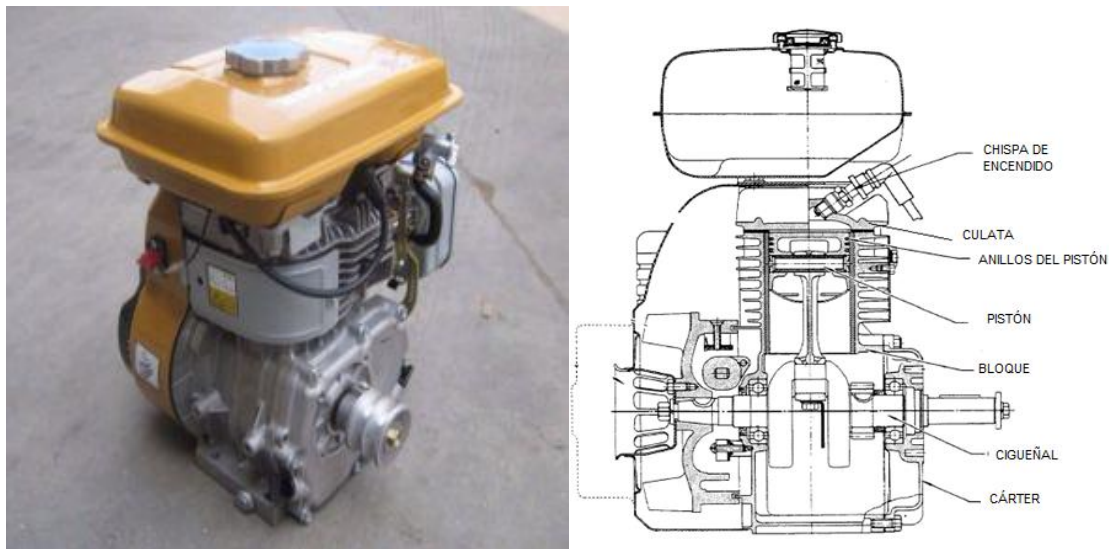
nuevos sistemas a utilizar, esto se vería reflejado en un aumento de potencia y límites de velocidad (Tanaka, Shimamoto, Yamaguchi, & Nouguchi, 1992).

1.1 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES ESTRUCTURALES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

Un motor de combustión interna es una máquina que transforma energía química de una mezcla de un combustible y oxígeno en energía mecánica, sometiendo a un fluido compresible a un ciclo termodinámico.

Dependiente del tipo de motor, el ciclo termodinámico se puede componer de 2 o 4 etapas, siendo el motor de 4 etapas el más utilizado en la actualidad por su aprovechamiento eficiente de combustible. Estas etapas son admisión, compresión, expansión y escape. Entre la compresión y la expansión se da la reacción térmica llamada combustión que genera la energía suficiente para el movimiento de las partes internas del motor y de esta manera transformarla en un desplazamiento lineal.

Ilustración 1. Motor robin EY-25 de 3,5 HP



Fuente: Power value generator

Dentro de los MCI se diferencian dos tipos de elementos, hay una parte del motor que forma la estructura en sí y que constituye las partes fijas que son principalmente el cárter, cilindro o bloque de cilindro y la culata como se ve en la ilustración 1a. Dentro de la estructura del motor se encuentran las partes móviles que trabajan por

contrapresión, que son elementos como el pistón, la biela, cigüeñal entre otros ilustración 1b.

1.1.1 BLOQUE DEL MOTOR

El bloque de cilindro es el elemento central del motor en su parte estructural, su geometría está delimitada por la carrera o longitud del cilindro, la parte superior del cárter y la cara inferior de la culata, su rigidez es esencial para ayudar a reducir las vibraciones y minimizar el ruido causado en la combustión y el movimiento de sus elementos internos, tradicionalmente es en fundición gris por su buena resistencia al desgaste y bajo costo, pero los bloques en aluminio se utilizan con frecuencia para pequeños motores con lo cual disminuye su peso y su fabricación se vuelve más sencilla. Los motores monocilíndricos generalmente tienen mayor rendimiento en cuanto a rpm con respecto a los multicilíndricos.

En el bloque del motor se instala la refrigeración, que dependiendo de la potencia y los tiempos pueden ser por medio de aire o líquido. Para motores de 0,75 a 70 kW se utiliza enfriamiento con aire en motores de 2 y 4 tiempos, para motores entre 15 y 75 kW se tiene opción de utilizar enfriamiento con aire o líquido en motores de 4 tiempos, para potencias mayores a 75 kW se utiliza enfriamiento líquido. (Amestoy, 2004)

Las aberturas para la refrigeración líquida generalmente están fundidas en el bloque.

Para motores de gran tamaño habitualmente se utilizan camisas insertadas a presión en el bloque que pueden ser reemplazadas con el tiempo. Dependiendo si la camisa tiene contacto directo o no con el fluido de refrigeración se llaman camisas humedad o secas.

Para un diseño modular se decide tener enfriamiento líquido ya que las geometrías internas que debe de tener el bloque son obtenidas mediante el mecanizado de una manera sencilla.

1.1.2 CULATA

Es una pieza de diseño complejo por las funciones y requisitos que debe cumplir, una de ellas es la de sellar el cilindro por su parte superior. La cabeza del cilindro o culata debe ser fuerte y rígida ya que una de sus funciones es la distribución uniforme de la fuerza de combustión en el bloque del motor y evitar pérdidas en la compresión (Carlos, 2013). El diseño básico de la cabeza del cilindro (culata) es

establecido por la forma de la cámara de combustión, posición de las válvulas, bujías, inyectores, canales de admisión y escape entre otros.

Al proyectar el diseño de la culata el enfriamiento del asiento de la válvula de escape y su buje ocupan especial atención ya que el mal diseño puede afectar la fiabilidad del sistema funcional de la válvula (MEJIA & ROMERO, 1991).

1.1.3 CÁRTER

El cárter del motor soporta el cigüeñal por medio de los cojinetes principales, el fondo del bloque forma la parte superior del cárter y hace parte del depósito de aceite para lubricación y refrigeración de los componentes móviles del motor. La anchura del cárter es determinada por la trayectoria inferior de la biela del motor y la cual no debe ser excesiva porque aumentaría la masa de él (MEJIA & ROMERO, 1991).

1.2 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE UN MCI

➤ Relación de compresión [R_C]

$$R_C = \frac{V_C + V_d}{V_C} \quad [1]$$

Donde:

$$V_C = h_0 * \frac{\pi * (B^2)}{4} \quad [2]$$

$$V_d = L * \frac{\pi * (B^2)}{4} \quad [3]$$

V_C : volumen inicial de cámara de combustión

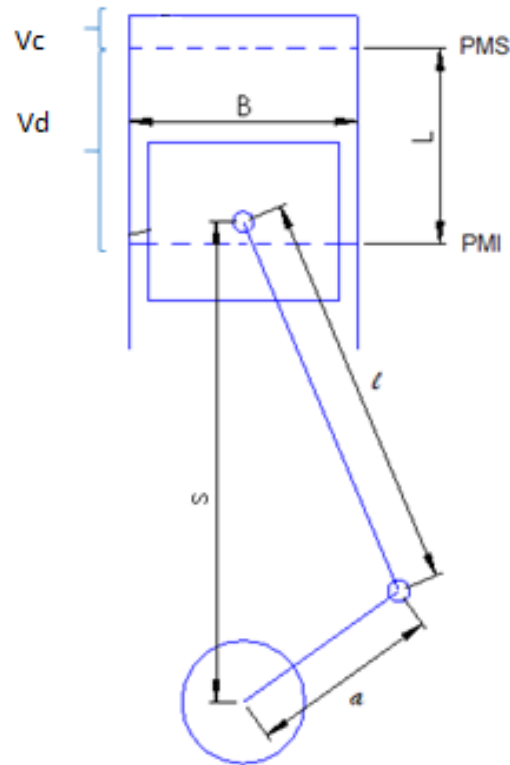
V_d : volumen de desplazamiento del cilindro

Punto muerto superior (PMS): posición del pistón donde el volumen total que ocupada la mezcla aire-combustible es el mínimo.

Punto muerto inferior (PMI): posición del pistón donde el volumen total que ocupa la mezcla aire-combustible es el máximo.

En la actualidad se intenta aumentar al máximo RC ya que cuanto mayor sea la presión en la cámara de combustión antes de la combustión mayor será la potencia desarrollada (Benlloch Menchero, 2016).

Ilustración 2. Geometría de cilindro, pistón, biela, cigüeñal de un MCI



- Relación entre diámetro del cilindro y carrera de pistón (R_{bs})

$$R_{bs} = \frac{B}{L} \quad [4]$$

Donde:

B : diámetro de del cilindro

L : longitud de desplazamiento del cilindro

Los motores con valores de R_{bs} mayores a 1 tienen de ventaja

- Permite colocar válvulas más grandes lo que ayuda una mejor circulación de los gases.
- Las bielas pueden ser más cortas lo que aumenta la rigidez.
- Se disminuye el rozamiento entre el pistón y la pared del cilindro.
- Cigüeñal con longitud reducida de sus codos y por lo tanto más rígidos.
- Mejor funcionamiento a altos regímenes.

➤ Relación entre longitud de la biela y el radio de la manivela (R)

$$R = \frac{l}{a} \quad [5]$$

Donde:

l : distancia entre centro de la biela

a : radio de manivela del cigüeñal

➤ Relación entre carrera y radio de la manivela (L)

$$L = 2a \quad [6]$$

Tabla 1. Datos típicos de diseño y operación de MCI

Motores de encendido por chispa	Ciclos de operación	Relación de compresión	Diámetro de cilindro [m]	Carrera /Diámetro	Velocidad [RPM]	b MEP [atm]	Potencia por unidad de volumen [kW/dm ³]
Motores pequeños (motocicleta)	2T, 4T	6 A 11	0,05 - 0,9	1,2 - 0,9	4500 - 7500	4,0 - 10	20 - 60
Carro de turismo	4T	8 A 10	0,07 - 0,1	1,1 - 0,9	4500 - 6500	7,0 - 10	20 - 50
Transporte pesado	4T	7 A 9	0,09 - 0,13	1,2 - 0,7	3600 - 5000	6,5 - 7,0	25 - 30
Motores a gas a gran tamaño	2T, 4T	8 A 12	0,22 - 0,45	1,1 - 1,4	3000 - 900	6,8 - 12	3,0 - 7,0

Fuente: (Heywood, 1988)

Los valores típicos de estos parámetros varían según el tipo de motor. RC de 8 a 12 si el motor es de encendido por chispa, teniendo en cuenta que para valores cercanos a 12 la mezcla aire combustible tiende a auto encenderse, RC> 12 para motores de encendido por compresión o que utilicen combustible oxigenados con el

etanol. Rbs de 0,8 a 1,2 para motores de pequeño y mediano tamaño entre 3 a 4 para motores de gran tamaño (Heywood, 1988). Estos parámetros básicos definen la geometría de un motor de combustión interna (MCI) alternativo, centradas en el desempeño, eficiencia y características de emisiones de éstos.

1.3 CARACTERÍSTICAS DE PAR Y POTENCIA DE UN MCI

Presión media efectiva (PME)

Es el promedio de presiones en la cámara de combustión durante la expansión de los gases en el ciclo de trabajo, la presión media efectiva es directamente proporcional a la potencia y par desarrollados por el motor.

Tabla 2. Rango de presión media efectiva dependiendo del tipo de motor

TIPO MOTOR	Variación PME [bar]		Variación PME [kPa]	
MEP Turismo	8	14	800	1400
MEP Deportivos	8,5	25	850	2500
MEC Automoción	6	16	600	1600
MEC 4T industriales	10	15	1000	1500

MEP: Encendido provocado

MEC: Encendido por compresión

Fuente: (Muñoz & Payri, 1994)

Se puede hallar una fuerza de presión efectiva que actuaría en dirección del cilindro del motor

$$F_e = \frac{PME}{A_c} \quad [7]$$

Par motor y potencia efectiva

Potencia efectiva (N_e) es la que se obtiene en la salida el cigüeñal del motor, esta es menor que la potencia indicada ya que se debe tener en cuenta las pérdidas térmicas y mecánicas que tiene internamente el motor, esta potencia normalmente se mide con un dinamómetro.

El par ejercido por el motor (T_e) es directamente proporcional a la potencia que éste desarrolla y está dado por:

$$T_e = \frac{N_e}{2\pi \cdot n} \quad [8]$$

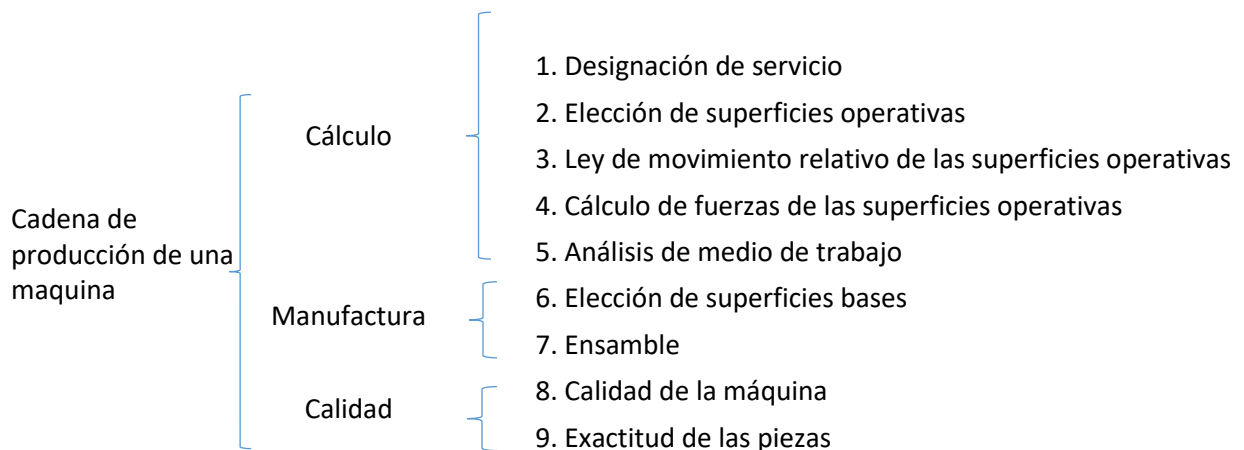
Donde:

n : régimen de rotación del cigüeñal.

1.4 MANUFACTURA DEL BLOQUE, CÁRTER Y CULATA DEL MOTOR MODULAR CON RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE

En la construcción de maquinaria, se llama proceso de elaboración al conjunto de etapas que se someten a los productos prefabricados en los caminos de transformación hasta la máquina terminada. El proceso de elaboración en una fábrica de maquinaria incluye la obtención de las piezas brutas, los distintos tipos de tratamiento (mecánico, térmico, químico, etc.), el control de calidad, la transportación, el almacenamiento, el montaje de la máquina, las pruebas, la regulación, el pintado, el acabado y el embalaje.

Ilustración 3. Etapas de una cadena de producción de una máquina



En la ilustración 3 vemos las etapas de producción de una máquina estándar, la cual se divide en tres, que van desde su creación como idea, los estudios y análisis necesarios para la obtención de unas funciones de servicio, el proceso de ensamble que da como resultado la máquina y las etapas de verificación y aseguramiento de la calidad en cada uno de sus servicios.

1.4.1 DESIGNACIÓN DE SERVICIO

Las máquinas se construyen para satisfacer unas necesidades, y esto se encuentra reflejado en su designación de servicio, esta designación debe de ser específica y contener todos los requerimientos para lo que se va a fabricar. Se entiende por designación de servicio de la máquina, el problema formulado con precisión y especificación al máximo, para solución del cual se destina la máquina.

Para el motor modular con relación de compresión variable se debe especificar como función básica la transformación de un movimiento lineal de un pistón en un movimiento rotacional a la salida del cigüeñal con la posibilidad de variar el volumen inicial de la cámara de combustión.

1.4.2 SUPERFICIES OPERATIVAS

Todas las máquinas, lo mismo que su diversos mecanismos cumplen su designación de servicio con la ayuda de una serie de superficies o de combinaciones de superficies que pertenecen a las piezas de la misma. A estas superficies o a sus combinaciones se suelen llamar superficies operativas de la máquina o de sus mecanismos.

Para satisfacer la designación de servicio de un motor de combustión interna se consideran varias superficies operativas como las caras de la culata, perímetro interno del cilindro, apoyos del cigüeñal, entre otras.

1.4.3 LEYES DE MOVIMIENTO Y FUERZAS ENTRE LAS SUPERFICIES OPERATIVAS

Se debe elegir la ley de movimiento de cada superficie o combinaciones de superficies operativas, para eso se les asigna una ley de movimiento relativo en concordancia a la designación de servicio de la máquina y se elabora un esquema de la máquina y de todos los componentes de sus mecanismos.

Por ejemplo el pistón de un motor de combustión interna tiene una velocidad lineal específica y la cual estará en contacto con la camisa del bloque o cilindro del motor.

En la siguiente etapa se calculan las fuerzas que actúan en las superficies operativas de la máquina y el carácter de su acción, como por ejemplo las fuerzas de fricción causada en la camisa del cilindro que se produce por la acción de la fuerza normal del pistón sobre el bloque.

Mediante la obtención de las características cinemáticas y dinámicas a las que va a estar sometida la máquina, las superficies operativas y las piezas, se elabora una geometría que garantice que la pieza puede cumplir su función en el conjunto y garantizar la designación de servicio de la máquina.

1.4.4 PROCESOS TECNOLÓGICOS PARA LA MANUFACTURA

Las partes del proceso de elaboración, durante las cuales tiene lugar la modificación del estado cualitativo del objeto de producción (del material, de la pieza bruta, de la pieza en sí, de la máquina) se llaman procesos tecnológicos

Para el diseño del bloque, cárter y culata del motor se contemplan 2 procesos tecnológicos de fabricación.

1. Bloque y culata fundida (cárter y cilindro en una pieza)
2. Bloque modular (conjunto de piezas mecanizadas de fácil ensamblaje)

Bloque fundido es el método más tradicional de fabricación de bloques para motores de combustión interna y tiene una estructura bastante diversa que depende de la clase del motor a fabricar y las tecnologías disponibles para su fabricación.

Para estos bloques se debe de tener en cuenta los espesores de paredes variables, tabiques, conductos de refrigeración, lubricación, salida de gases de combustión, nervaduras para mayor rigidez y apoyos de elementos rotatorios internos de los motores. Lo que se convierte en un método complejo y que es necesaria mucha experiencia en la fabricación de éstos y tecnologías avanzadas disponibles para asegurar la precisión dimensión y evitar fallos en la colada. (Hernandez, 1982)

Un diseño modular es un sistema, estructura o bloque de piezas que permite optimizar los tiempos de fabricación y de ensamble, ofrece una amplia flexibilidad principalmente en su etapa de ensamble. Las piezas que conforman el sistema modular no precisamente deben de ser de geometría similar o sencilla pero si tener en cuenta que la unión entre ellas debe ser rápida, flexible, y económica.

Para la implementación del sistema modular se pretende utilizar operaciones de desprendimiento de material con filo geométricamente determinado (operaciones de torneado y fresado) y con filo no determinado (operaciones de rectificado). Estas operaciones son partículas mínimas en las que se divide el proceso tecnológico desde un punto de vista de planificación, organización y cálculo.

1.4.5 EXACTITUD DE LAS PIEZAS QUE COMPONEN UNA MÁQUINA

La exactitud se representa como la medida de magnitudes de sus desviaciones calculadas para satisfacer su designación de servicio. De esto se entiende que la medida de exactitud de la pieza final, por un lado son las desviaciones establecidas y por el otro son las desviaciones medidas de la pieza ya fabricadas que deben de satisfacer las establecidas.

Los índices de exactitud son los parámetros (medidas) que debe cumplir las piezas para el aseguramiento de ésta. A continuación se enuncia los índices establecidos.

1. Precisión de las distancias entre dos superficies de la misma pieza.
2. Exactitud de giro de una superficie respecto a otra.

La precisión o exactitud de las formas geométricas de una pieza, se entiende como la máxima aproximación de cada una de las superficies de la pieza a su representación geométrica. Se distinguen tres tipos de desviaciones de las superficies las piezas respecto a sus formas geométricas:

1. Las desviaciones macrogeométricas, que son las desviaciones de la superficie real en límites de las medidas máximas de su superficie para representar su forma geométrica, por ejemplo la planificad de una superficie.
2. Ondulaciones que representan irregularidades periódicas en sectores de 1 a 10 mm.
3. Las desviaciones microgeométricas, que representa la rugosidad (aspereza) de la superficie.

Es difícil hablar de una exactitud de medida en la distancia entre dos superficies, ya que alguna de las desviaciones pueden estar ejerciendo influencia sobre las demás, por esto se establece la siguiente metodología para la verificación de la exactitud:

1. Se debe de emplear un orden de medición de exactitudes para que las de menor magnitud no influyan en las medidas, por esto se inicia con las microirregularidades, seguida por las ondulaciones, después por la macroirregularidades y finalmente la exactitud de la distancia entre dos superficies.

De lo anterior se entiende que:

*Dimensión entre superficies > Desviaciones de giro > Desviaciones macro
> Desviaciones micro*

Ahora al tener claro los parámetros de exactitud de cada una de las piezas se puede hablar de una precisión de maquinaria que se caracteriza por la aplicación de los

mismos índices de exactitud de las piezas, pero enfocada en las superficies operativas en común de las diferentes piezas en un contexto de ensamble.

La exactitud o precisión de movimiento relativo es una aproximación real del movimiento de las superficies operativas a la ley teórica de movimiento elegida para satisfacer su designación de servicio, que va de la mano de la exactitud o precisión de las distancias entre ellas que garantizan su ensamble y la clase de ajuste que deberá tener (juego, exacto, con interferencia)

1.4.6 OBTENCIÓN DE LA CALIDAD DE MAQUINARIA

Para que las superficies operativas de la máquina y de sus mecanismos se muevan y ocupen la requerida posición relativa, es necesario acoplar sus piezas portantes con otros dos tipos de piezas.

En el primer tipo están todas las piezas que cumplen la función de eslabones de las cadenas cinemáticas de la máquina y de sus mecanismos. El segundo tipo comprende las que sirven para unir y asegurar la posición relativa de las primeras.

El acoplamiento y la disposición relativa de todas las piezas de la máquina, se asegura en términos de exactitud valiéndose del proceso de montaje y regulación. En el proceso de montaje se realizan dos tipos de acoplamientos entre las superficies operativas de las máquinas y sus mecanismos.

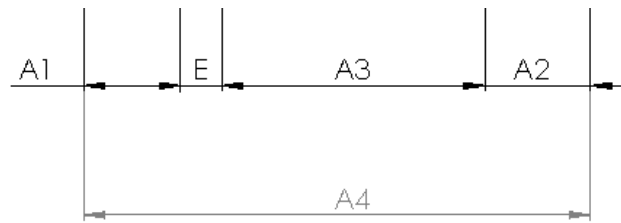
1. El acoplamiento que se origina debido al movimiento relativo de las superficies operativas y de sus mecanismos.
2. El acoplamiento que proyecta las requeridas posiciones de las superficies operativas de la máquina y de sus mecanismos.

Todas las dimensiones que enlazan las superficies operativas, forman un contorno cerrado disponiéndolas una en pos de otra en determinada posición, y esto se utiliza para la representación esquemática de las sucesivas dimensiones para asegurar la exactitud de las superficies de trabajo y se denomina cadena dimensional. En la ilustración 5 vemos la cadena dimensional que representa el aseguramiento de la exactitud del movimiento rectilíneo en el bastidor del motor modular y la placa móvil de variación de volumen.

En una cadena dimensional conviven diferentes tipos de eslabones que poseen una tarea específica en ella y en el aseguramiento de la calidad de la maquinaria.

El eslabón inicial es el que por donde se empieza a construir la cadena dimensional, y el eslabón de cierre es el último componente de la cadena.

Ilustración 4. Cadena dimensional de una superficie de trabajo del motor modular



El eslabón componente es aquel que cuyo cambio de magnitud ejerce influencia en la magnitud del eslabón inicial o de cierre. Compone todos los eslabones excepto el inicial o el de cierre.

El eslabón aumentante es aquel que con cuyo aumento de magnitud se incrementará la del eslabón el inicial o de cierre.

El eslabón reductor es aquel cuya disminución de magnitud se disminuye la del eslabón inicial o de cierre.

El eslabón compensador es el diseñado para que con su cambio de magnitud absorba la magnitud excesiva el eslabón inicial o de cierre.

El eslabón común es el que pertenece al mismo tiempo a varias cadenas dimensionales.

El eslabón inicial o de cierre de la cadena dimensional es el que enlaza directamente las superficies y los ejes de las piezas, cuya distancia relativa o giro se pretende asegurar, para asegurar las leyes de movimiento relativo.

Basándonos en la ilustración 5 determinados que:

E: eslabón de cierre

A1, A2 y A3: eslabones reductores.

A4: eslabón aumentador.

A1, A2, A3, A4: eslabones componentes

En la anterior cadena dimensional el eslabón de cierre E es el ajuste entre las superficies operativas de una máquina, para el cual se debe garantizar su exactitud para que cumplan su designación de servicio. De ella entendemos que el si se garantiza la debida exactitud del eslabón de cierre se garantiza la calidad de la máquina a fabricar.

De la debida exactitud del eslabón de cierre E, depende que la exactitud de las desviaciones reales de los demás eslabones (A1, A2, A3 y A4).

Para garantizar la exactitud del eslabón de cierre existen varios métodos que son:

1. Método de intercambiabilidad completa
2. Método de intercambiabilidad no completa
3. Método de intercambiabilidad por grupos
4. Método de ajuste
5. Método de regulación

1.5 PROCESOS DE MECANIZADO

Torneado: se mecanizan las superficies mediante el movimiento fundamental de la pieza que gira mientras que la herramienta de corte realiza un movimiento de avance a través de la misma, ya que la superficie de corte es única y siempre permanece en contacto con la pieza, la herramienta está sometida a mayor fatiga, mayor desgaste y trabaja a temperaturas superiores comparadas con la fresa.

Fresado: se mecanizan las superficies mediante una herramienta con un movimiento rotacional, mientras que la pieza generalmente tiene un movimiento rectilíneo de avance.

La fresadoras tienen mucho mayor rendimiento que las demás máquinas herramientas para la misma operación, pues cada diente o arista de la fresa no está en fase de trabajo y por lo tanto, el contacto con la pieza no es más que una fracción de tiempo y experimenta menos fatiga, tiene menor desgaste y trabaja a temperaturas inferiores que las cuchillas de los tornos. Procesos de fresado usados en las piezas del motor modular como el planeado, escuadrado, ranurado recto y de forma, dan mayor rendimiento en la fabricación del motor modular.

Rectificado: es un proceso de arranque de material median abrasión, causada por una herramienta formada por productos de gran dureza y un material aglomerante que hacen permanecer unidas las partículas del material duro, es utilizada para modificar la forma y acabado superficial de las piezas a mecanizar. De los procesos utilizados en la fabricación de las piezas del motor modular es el que mayor precisión suministra (0,001 a 0,005 mm), utilizándolo en los procesos críticos de la elaboración de las piezas

Ventajas:

1. Alta precisión dimensional
2. Variedad de formas
3. Propiedades de material constantes
4. Texturas superficiales variables
5. Automatización flexible

Desventajas:

1. Produce material de desecho
2. Tamaña limitado por maquinaria a utilizar
3. Manufactura costosa para grandes lotes
4. Alta energía invertida en la elaboración de las piezas

1.5.1 GENERACIÓN DE SUPERFICIES

El principio de la generación de superficie mediante el arranque de viruta es un proceso bidimensional ya que la geometría de la herramienta solo tiene información de un punto o elemento de la superficie final.

Para este tipo de generación de superficies se requiere dos movimientos relativos entre pieza y herramienta. El primero es el movimiento de corte y el segundo es el movimiento de avance, estos movimientos pueden ser lineales o circulares y los pueden llevar la pieza o herramienta, lo que da amplia flexibilidad para generar superficies. En estos movimientos relativos se invierte energía a la pieza a través de la máquina herramienta lo cual tiene suma importancia para el dimensionamiento de la máquina a utilizar.

Ilustración 5. Máquinas y movimientos relativos pieza-herramientas

Herramienta	Mov.	Tipo mov.	Portador
Limadora	M _C	Lineal	Herramienta
	M _a	Lineal	Pieza
Cepilladora	M _C	Lineal	Pieza
	M _a	Lineal	Herramienta
Torno	M _C	Circular	Pieza
	M _a	Lineal	Herramienta
Fresadora	M _C	Circular	Herramienta
	M _a	Lineal	Pieza
Taladradora	M _C	Circular	Herramienta
	M _a	Lineal	Herramienta

1.6 PROCESO DE ENSAMBLE DE UNA MÁQUINA

La construcción de una máquina se realiza a través de la unión de unas piezas mediante sus superficies en común, dentro de las cuales se tienen las superficies operativas.

Uniéndose en el proceso de ensamble las piezas forman unidades de montaje. De modo elemental, la unidad de montaje simple es el conjunto.

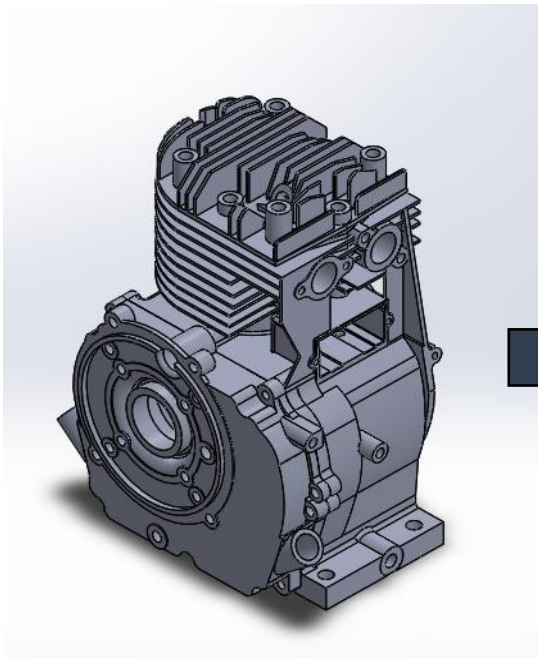
- Por conjunto se entiende la unidad de montaje a cuya pieza base se unen una u otras piezas de la máquina. Las funciones de las piezas bases residen no sólo en la unión de las piezas con otras, si no en asegurar sus distancias y giros relativo indispensables para la designación de servicio de la máquina.
- La siguiente unidad de montaje compleja es el subgrupo. Esta unidad de montaje consistente en una pieza base en la que se ensambla la unidad de montaje antecedente, es decir un conjunto. En el caso general, el subgrupo puede tener varios conjuntos y piezas montadas directamente en su pieza base.
- Grupo de primer orden representa la pieza base en la que se monta directamente por lo menos un subgrupo. En el caso general, el grupo representa la pieza base a la cual pueden unirse directamente varios subgrupos, conjuntos y piezas.
- Grupo de segundo orden, este representa en el caso general, una pieza base en la que van montados directamente uno o varios grupos de primer orden, subgrupos, conjuntos y piezas.

2. DISEÑO DE BLOQUE, CULATA Y CÁRTER DE UN MCI

Ilustración 6. Transformación de MCI comercial a modular

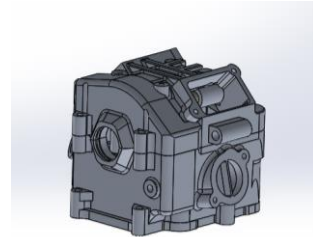
Motor comercial

Monobloque

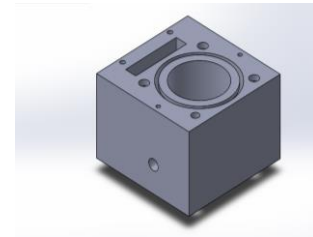


Motor Modular

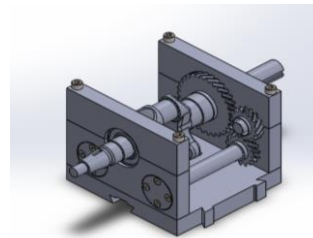
Culata



Bloque

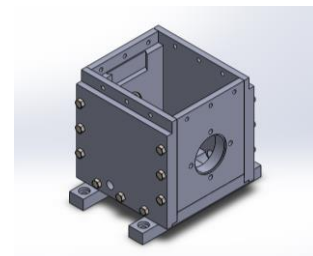


Superior



Cárter

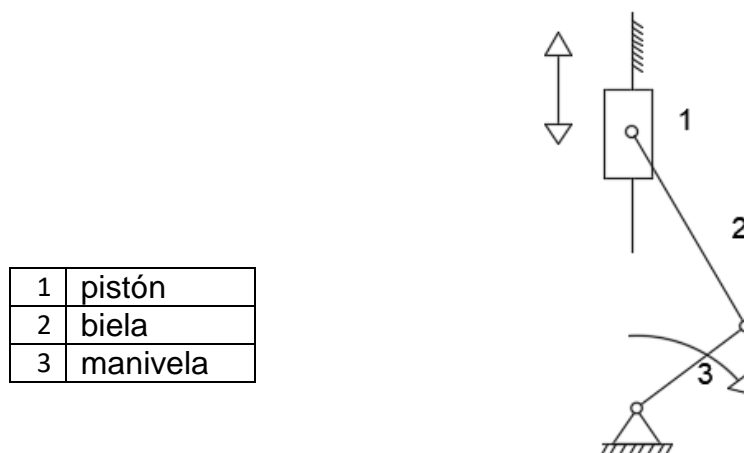
Inferior



El motor robin EY25 se transforma en un motor modular con características geométricas idénticas, es decir pasa de ser un monobloque a un ensamble de piezas mecanizables e intercambiables con facilidad, compuesto por una culata comercial, un conjunto bloque y camisa mecanizadas y un cárter compuesto por dos compartimientos, uno superior donde se aloja el cigüeñal y las piezas móviles que ayudara a variar el volumen muerto del cilindro y uno inferior para ubicar un eje excéntrico de moverá las piezas flotantes del cárter superior.

2.1 CONCEPTO DE DISEÑO DE MOTOR MODULAR PARA RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE.

Ilustración 7. Esquema cinemático clásico del motor de combustión interna



El motor clásico está compuesto como se ve en la ilustración 7, de un mecanismo manivela - deslizador con una geometría particular de un motor robin EY 25 que se indica en la tabla 4 es un motor mono cilindro de baja potencia refrigerado con aire. Un motor compacto, liviano en peso y de cuatro tiempos con una potencia de salida de 5HP a 3600 rpm.

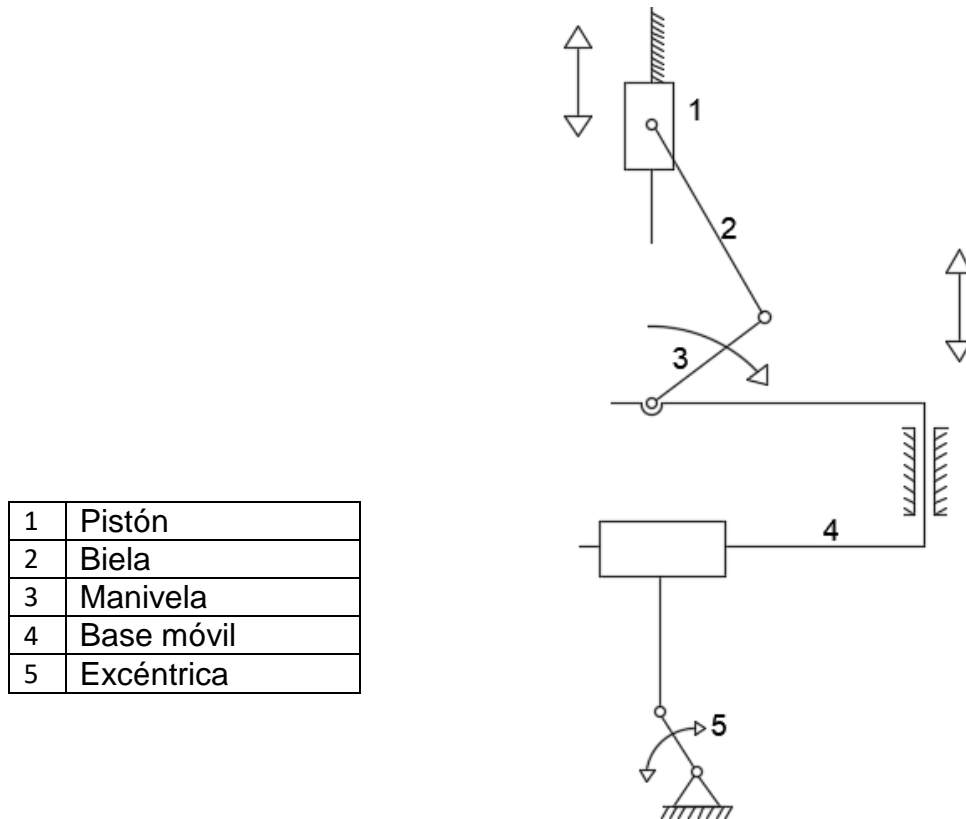
Tabla 3. Características motor robin EY25

Diámetro de cilindro (B)	72	mm
Carrera (L)	62	mm
Longitud entre centros biela (l)	110	mm
Radio de manivela (a)	31	mm
Relación de compresión Rc	6	
Volumen inicial (V_c)	50,49	Cm ³
Cilindrada (V_d)	252,43	Cm ³
Volumen máximo	302,92	Cm ³
Refrigeración	Aire	

Fuente: (Robin Industrial Engine)

La geometría clásica de los motores de combustión garantiza una relación de compresión fija, ya que sus volúmenes iniciales y finales permanecen constantes.

Ilustración 8. Esquema cinemático del motor modular para variación de relación de compresión



Se pretende diseñar un mecanismo de variación de compresión bajo el concepto de cambio de volumen inicial (V_c), para ello se utilizarán los mismos elementos móviles del motor robin EY-25 (Biela, cigüeñal), menos el pistón que varía el diámetro a uno ligeramente menor. En el motor robin clásico los apoyos del cigüeñal van fijos al bastidor del motor, concepto que cambiará en el nuevo motor.

Se proyecta diseñar unas placas móviles (flotantes) que tendrán un desplazamiento vertical y donde se apoyará el cigüeñal, a su vez estas placas móviles estarán apoyadas sobre una placa base móvil que cambiará su altura con ayuda de una chumacera y un eje excéntrico ubicado en un compartimiento en la parte inferior del cárter, bajo este concepto los apoyos del eje excéntrico será los que estarán en contacto con el bastidor del motor que es el elemento fijo, igual que el cilindro y la culata.

El cilindro se apoyará sobre las placas exteriores del cárter, las cuales llevarán una corredera para modificar la salida del eje del cigüeñal.

Se define el límite superior de relación de compresión (RC) igual a 14 para utilización de etanol, limitado por los combustibles utilizados y la estructura del motor que se desea conservar como liviana y compactó.

La RC está dada por la proporción del volumen total del motor sobre el volumen mínimo (cámara de combustión) como se habló en el capítulo anterior. La máxima relación de compresión para aplicación con gasolina del motor modular será de 12, teniendo en cuenta que para relaciones mayores la mezcla aire combustible tiende a auto encenderse (Heywood, 1988). Para valores $RC > 12$ se aplicará un combustible oxigenado como es el etanol, que posibilitará aumentar la relación de compresión hasta 14 para esta aplicación de combustible.

2.2 ALTURA DE CÁMARA DE COMBUSTIÓN PARA APLICAR LA VARIACIÓN DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN (h)

En la tabla 7 vemos los rangos de variación de compresión que se utilizaron en el motor dependiendo el tipo de combustible. Para cada uno de ellos se calculará la altura mínima h_0 que deberá de tener la cámara de combustión.

La diferencia entre la altura mínima h_0 para RC igual a 8 y h_0 para RC igual 14 será la excentricidad necesaria para el dispositivo de variación.

Tabla 4. Correlación de combustible y relación de compresión

Combustible utilizado	Relación de compresión RC
Gasolina Corriente	8
Gasolina Extra	12
Etanol	14

Altura de cámara de combustión inicial (RC= 8)

$$RC_{@8} = \frac{V_C + V_d}{V_C} = 8 \quad [1]$$

Donde:

$$V_C = h_0 * \frac{\pi * (B^2)}{4} \quad [2]$$

$$V_d = L * \frac{\pi * (B^2)}{4} \quad [3]$$

h_0 : Altura mínima de cámara de combustión

$L = 62 \text{ mm}$; Carrera de motor (Longitud de desplazamiento del pistón en el cilindro)

$$B = 69,5 \text{ mm}$$

Se determina una altura de cámara de combustión para la utilización de Gasolina corriente.

$$h_0 = 8,86 \text{ mm}$$

Tabla 5. Geometría motor modular RC=8

Diámetro cilindro (B)	69,50	mm
Carrera (L)	62,00	mm
Altura cámara h_0	8,86	mm
Volumen inicial a h	33,60	cm ³
Cilindrada V_d	235,21	cm ³
Volumen total	268,81	cm ³
Relación de compresión (RC)	8,00	mm

Altura de cámara de combustión inicial (RC= 12)

$$RC_{@12} = \frac{V_C + V_d}{V_C} = 12 \quad [1]$$

Donde:

$$V_C = h_0 * \frac{\pi * (B^2)}{4} \quad [2]$$

$$V_d = L * \frac{\pi * (B^2)}{4} \quad [3]$$

h_0 : Altura mínima de cámara de combustión

$L = 62 \text{ mm}$; Carrera de motor (Longitud de desplazamiento del pistón en el cilindro)

$$B = 69,5 \text{ mm}$$

Se determina una altura de cámara de combustión para la utilización de Gasolina extra

$$h_0 = 5,64 \text{ mm}$$

Tabla 6. Geometría motor modular RC=12

Diámetro cilindro (B)	69,5	mm
Carrera (L)	62	mm
Altura cámara h_0	5,64	mm
Volumen inicial a h_0	21,38	Cm ³
Cilindrada V_d	235,21	Cm ³
Volumen total	275,56	Cm ³
Relación de compresión (RC)	12,00	

Altura de cámara de combustión inicial (RC= 14)

$$RC_{@14} = \frac{V_c + V_d}{V_c} = 14 \quad [1]$$

Donde:

$$V_c = h_0 * \frac{\pi * (B^2)}{4} \quad [2]$$

$$V_d = L * \frac{\pi * (B^2)}{4} \quad [3]$$

h_0 : Altura mínima de cámara de combustión

$L = 62 \text{ mm}$; Carrera de motor (Longitud de desplazamiento del pistón en el cilindro)

$B = 69,5 \text{ mm}$

Se determina una altura de cámara de combustión para la utilización de etanol

$$h_0 = 4,77 \text{ mm}$$

La variación de la relación compresión entre 8 y 14 nos arroja un desplazamiento del punto muerto superior del ciclo (PMS) de 4,09 mm entre la utilización de gasolina corriente y etanol, este desplazamiento se ejecutará mediante un bancada móvil ayudada por un eje con una excentricidad cerca a este valor para poder obtener los valores mínimos y máximos del volumen de la cámara de combustión.

Tabla 7. Geometría motor modular RC=14

Diámetro cilindro (B)	69,5	mm
Carrera (L)	62	mm
Altura cámara h_0	4,77	mm
Volumen inicial a h_0	18,09	Cm ³
Cilindrada V_d	235,21	Cm ³
Volumen total	253,30	Cm ³
Relación de compresión (RC)	14,00	

En la tabla 11. Se observan las variables geométricas a las que estará sometido el motor de relación de compresión variable, sus elementos internos, el bloque, cárter y culata.

Tabla 8. Variación de relación de compresión para motor modular

Diámetro cilindro (B)	69,5	mm
Carrera (L)	62	mm
Altura de cámara mínima h_0	4,77	mm
Altura de cámara máxima h_F	8,86	mm
Diferencia entre centros excéntrica	4,09	mm
Volumen inicial mínimo h_0	18,09	cm ³
Volumen inicial máximo h_F	33,61	cm ³
Cilindrada L	235,21	cm ³
Volumen total a h_0	253,30	cm ³
Volumen total a h_F	268,82	cm ³
Relación de compresión (RC) máxima	14,00	
Relación de compresión (RC) mínima	8,00	

2.4 FUERZAS SOBRE BLOQUE DE MOTOR

Para determinar los esfuerzos que se aplicaron al motor, se hallaron los efectos asociados a la presión de los gases de combustión. En el bloque se ejerce una fuerza normal provocada por el pistón y las fuerzas de apoyo en la bancada del motor (cigüeñal). Adicional a estas cargas, se analizan las fuerzas a la que está sometido el bloque de apoyo del eje excéntrico encargado de la variación de compresión.

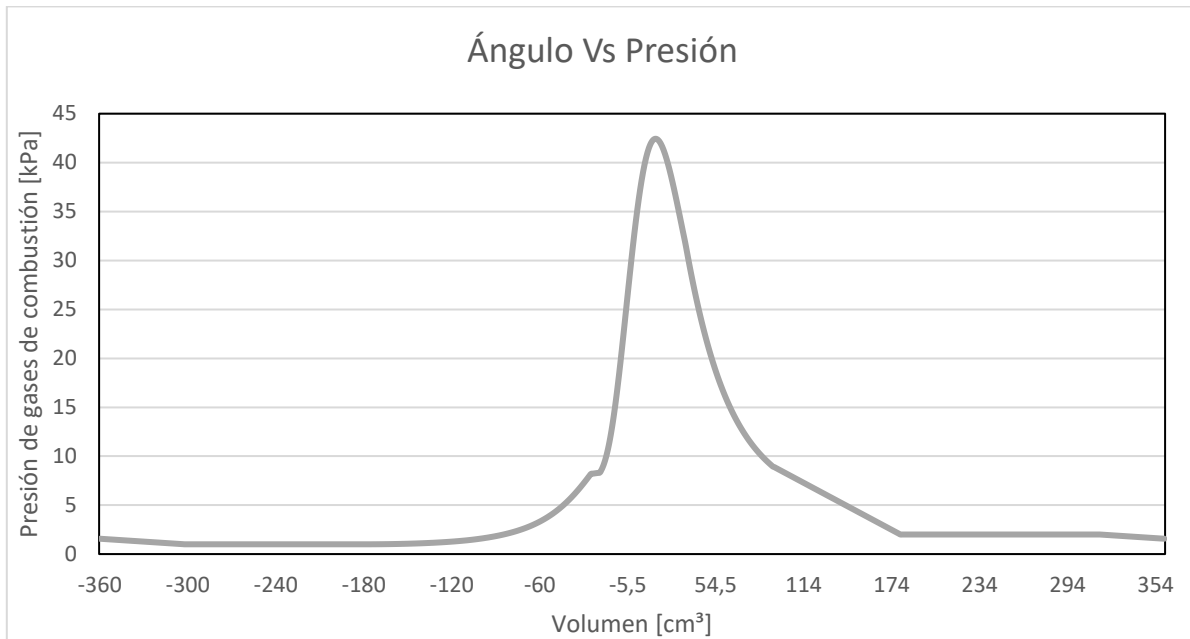
Cuando las fuerzas de presión provocadas por los gases es la máxima, las fuerzas inerciales son despreciable (Romero, 2002). Teniendo en cuenta esta consideración se realizan los cálculos en el bloque del motor modular para relación de compresión variable.

2.4.1 PRESIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN PARA LAS DIFERENTES RELACIONES DE COMPRESIÓN

Para una relación de compresión de 6:1 tomando como base el motor robin EY-25 se determina la presión máxima de los gases por medio del software de simulación siculo.

Volumen máxima	302,9199 [cm ³]
Volumen mínimo	50,48665 [cm ³]
Relación de compresión	6
Presión máxima de gases	4243,446 [kPa]

Ilustración 9. Variación de presión de gases motor robin EY-25.



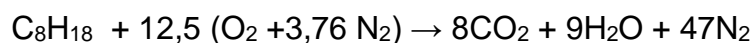
Para realizar los cálculos de presión de gases de combustión de las relaciones de compresión utilizadas en el motor modular se utiliza el programa diseñado en el curso de Máquinas de Combustión Interna dirigido por el doctor Carlos Alberto Romero Piedrahita, en el cual se caracterizan las variables físicas y geométricas del diseño de un motor de combustión interna, teniendo en cuenta el combustible utilizado.

Como primera característica se halla la relación de aire combustible necesaria para la aplicación de gasolina extra y etanol, ingresando la fórmula química respectiva de cada combustible y el poder calorífico en kJ/kg de cada combustible.

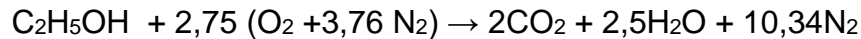
Tabla 9. Ecuación estequiometria para gasolina y etanol

Combustible	Fórmula Química	Poder Calorífico H_u (kJ/kg)
Gasolina	C_8H_{18}	46550
Etanol	C_2H_5OH	27693,9

Se realiza un balance estequiométrico para la utilización de gasolina con el siguiente resultado:



Se realiza un balance estequiométrico para la utilización de etanol con el siguiente resultado:



Para la relación de compresión de 12 se utilizará gasolina con un poder calorífico de 4655° kJ/kg y para el etanol con relación de compresión de 14 un poder calorífico de 27693,9 kJ/kg.

El resultado dado por el programa de cálculo para gasolina, con una relación de compresión de 12 y etanol para la aplicación en el motor modular, con una relación de compresión de 14.

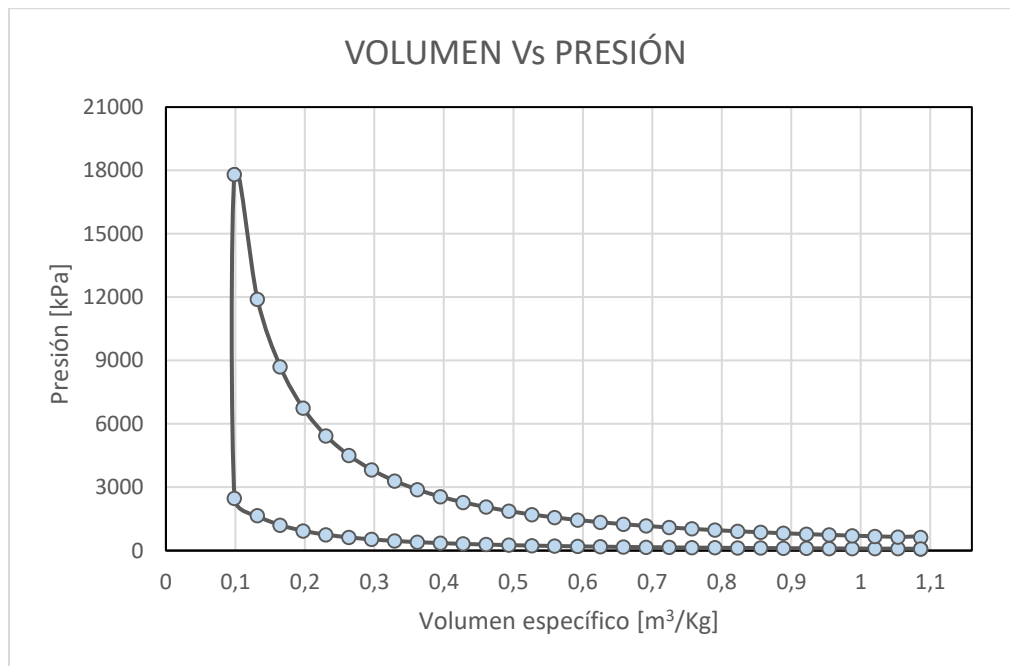
Gasolina = 15,0526316 kg_{aire}/kg_{combustible}

Etanol = 8,38933333 kg_{aire}/kg_{combustible}

Como se observa en la ilustración 8, para una relación de compresión de 12:1 y tomando como base las características del motor modular. Se determina por medio del programa de cálculo de la Facultad de Ingeniería Mecánica los siguientes datos:

Volumen máxima	275,56 [cm ³]
Volumen mínimo	21,38 [cm ³]
Relación de compresión	12
Presión máxima de gases	17804,95 [kPa]

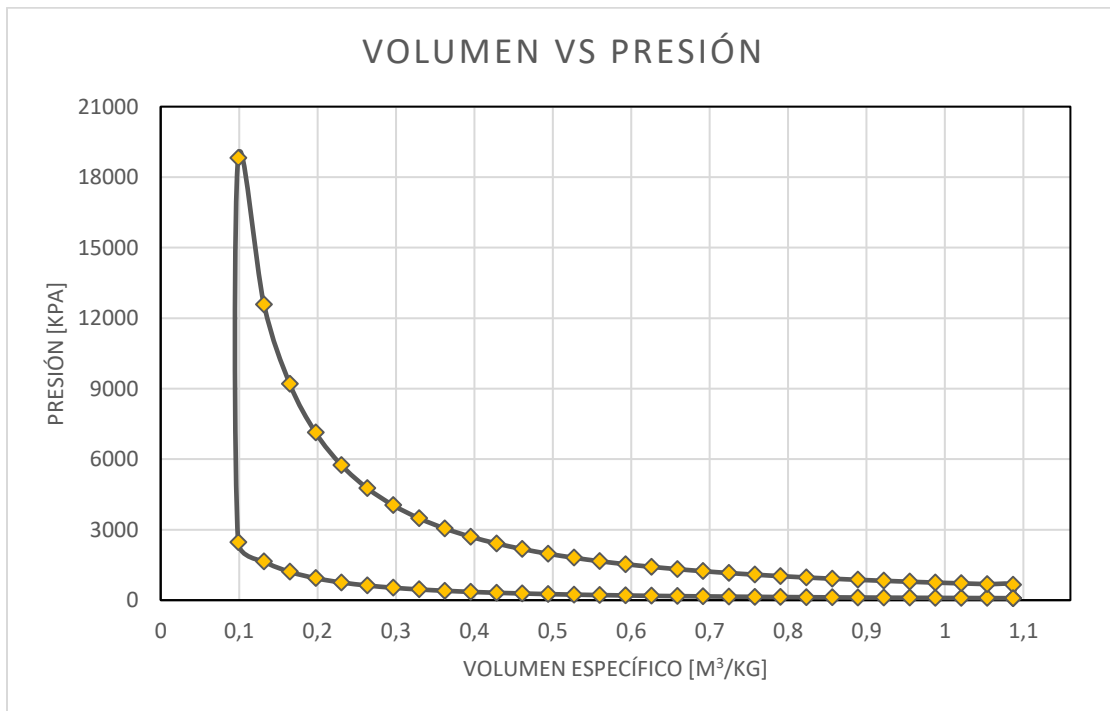
Ilustración 10. Variación de presión de gases motor modular RC 12(Gasolina extra).



Como se observa en la ilustración 9, para una relación de compresión de 14:1 y tomando como base las características del motor modular. Se determina por medio del programa de cálculo de la Facultad de Ingeniería Mecánica los siguientes datos:

Volumen máxima	253,21 [cm ³]
Volumen mínimo	18,09 [cm ³]
Relación de compresión	14
Presión máxima de gases	18817,89 [kPa]

Ilustración 11. Variación de presión de gases motor Modular RC 14(Etanol).



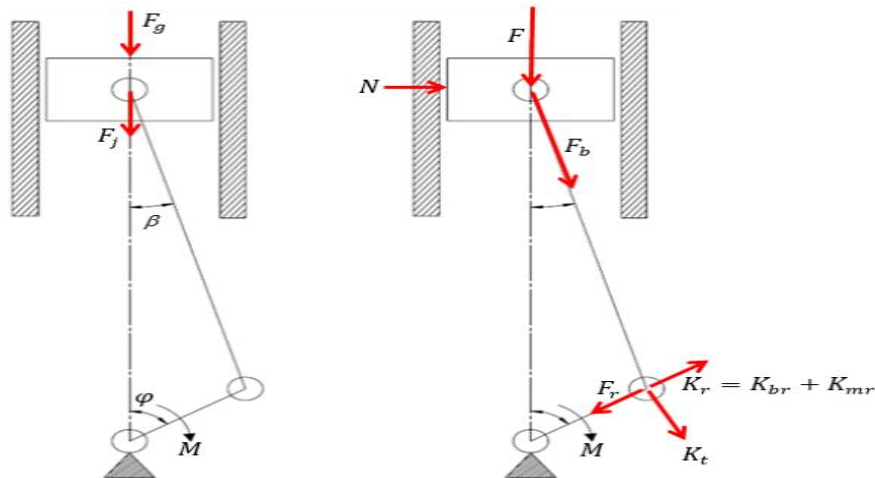
Se analizaron tres relaciones de compresión para la utilización en el motor modular y la aplicación de gasolina corriente, gasolina extra y etanol. Se obtiene un aumento de presión de gases de 14574,44 kPa del motor modular a una RC de 14 con respecto al motor robin EY- 25, siendo necesario garantizar la rigidez del motor modular para soportar mayores cargas debido a este aumento de presión en la cámara de combustión.

PRESIÓN MÁXIMA DE GASES APLICADA A MOTOR MODULAR = 18,8 MPA

2.4.2 FUERZAS APLICADAS AL BLOQUE Y CÁRTER DEL MOTOR MODULAR

Se realiza el cálculo dinámico de los elementos internos del motor modular, teniendo en cuenta que el cálculo se efectuará cuando el mecanismo biela-manivela esté expuesto a la presión máxima de los gases de combustión

Ilustración 12. Fuerza internas de mecanismo biela-manivela



F_g : Fuerza de presión de los gases en el pistón

F_j : Fuerza de inercia de las masas en movimiento alternativo

F : Fuerza resultante sobre el pasador del pistón y dirigida a lo largo del eje del cilindro

N : Fuerza lateral, perpendicular al eje del cilindro

K_t : Fuerza total tangencial, perpendicular al radio de la manivela

F_r : Fuerza normal, dirigida a lo largo de la manivela

K_r : Fuerza de inercia resultante, dirigida a lo largo del radio de la manivela y la cual carga el muñón de apoyo

K_{br} : Fuerza de inercia centrífuga de la parte en rotación de la biela

K_{mr} : Fuerza de inercia centrífuga de la manivela

Para realizar los cálculos de presión de gases de combustión para las relaciones utilizadas en el motor modular se utiliza el programa diseñado en el curso de

Máquinas de Combustión Interna dirigido por el Doctor Carlos Alberto Romero Piedrahita.

En los datos de entrada se tiene como principal característica la presión máxima de los gases, la geometría de los elementos internos del motor, y sus respectivas masas

Tabla 10. Datos de entrada de programa de diseño MCI

DATOS DE ENTRADA	
PARÁMETROS DEL MOTOR	INGRESE EL VALOR
Presion máxima sobre el piston [MPa]	0
Presion en el carter [kPa]	86
Diámetro del piston [cm]	6,950
Area transversal de la biela [cm ²]	8,95
Longitud de la biela [cm]	11,0
Masa del las piezas del grupo pistón [gr]	246,6
Masa de la biela en su conjunto [gr]	191,8
Porcentaje de masa de la biela que participa en el movimiento alternativo [0.25 - 0.275]	0,25
Revoluciones por minuto [RPM]	3000
λ [0.24 - 0.31] (Geometria existente del motor robin)	0,28

Para las diferentes relaciones de compresión utilizadas, en el motor modular se modifica el valor de presión máxima sobre el pistón ya que varía, los demás valores permanecen constantes ya que la geometría del motor no cambia.

Para el diseño de motor modular se toma como base la presión máxima de los gases que la suministra el etanol, con una relación de compresión de 14.

Presión máxima de gases = 18800 kPa

Como resultado, se obtiene para el interés del diseño de los elementos fijos del motor la fuerza resultante sobre el muñón (R_{ab}), que es la fuerza aplicada a los apoyos del cigüeñal y a los que van a estar sometidos el eje excéntrico y sus apoyos, y la fuerza lateral que ejerce el pistón sobre el cilindro y bloque del motor.

1. $R_{ab} = 71150,21 \text{ N}$
2. $N = 4717,46 \text{ N}$

Tabla 11. Fuerzas internas de motor modular para máxima presión de gases de combustión

PARÁMETROS DEL CICLO OTTO	VALOR
Masa de las piezas del grupo pistón (mp) [kg]	0,246600
Velocidad angular [rad/s]	314,1593
Masa de la biela en su conjunto (mb) [kg]	0,1918
Fuerza de presión de los gases sobre el pistón (Fg) [N]	70994,73
Masa de las piezas en movimiento lineal alternativo (mi) [kg]	0,294550
Fuerza de inercia de las masas en movimiento alternativo (Fi) [N]	0,000
Fuerza resultante sobre el pasador y a lo largo del eje del cilindro (F) [N]	70994,73
Ángulo de inclinación con respecto al eje del cilindro (β)	0,066323
Fuerza total a lo largo de la biela (Fb) [N]	71151,16
Fuerza lateral (N) [N]	4715,464777
Fuerza normal (Fr) [N]	70994,73
Fuerza total tangencial (Kt) [N]	4705,097678
Momento torsor resultante (Mt)	144,917008
Fuerza de inercia centrífuga de la manivela a lo largo del radio de rotación (Kmr) [N]	-0,0001
Fuerza de inercia centrífuga resultante a lo largo del radio de la manivela (Kmr) [N]	-0,2670
Masa no balanceada de los elementos de la manivela (mm) [kg]	0,059184
Fuerza de inercia centrífuga de la parte en rotación de la biela, a lo largo de la manivela (Kbr) [N]	-0,2670
Dirección de la resultante respecto a la manivela (ϕ) [rad]	0,066177
Fuerza resultante sobre el muñón (Rab) [N]	71150,21

2.4.3 FUERZAS EN LOS APOYOS DEL CIGÜEÑAL

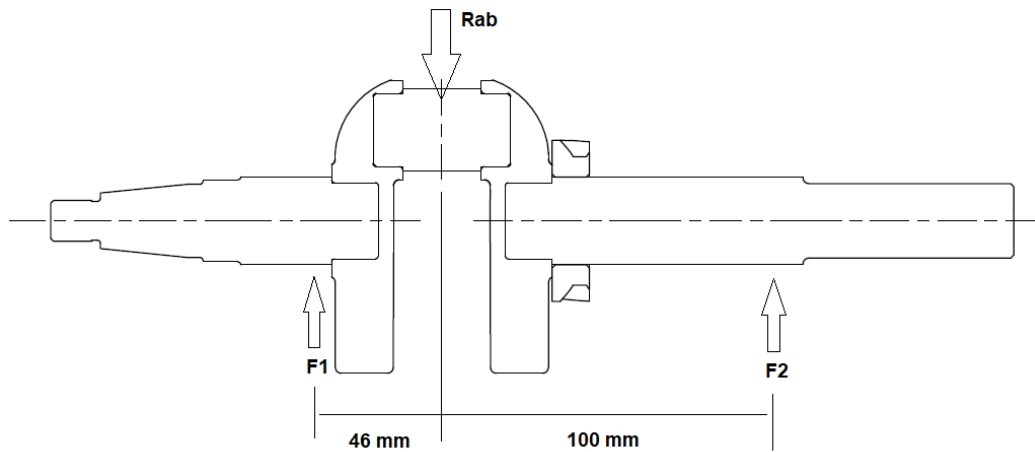
Los puntos 1 y 2 son los apoyos del cigüeñal en el bloque de motor modular, se hallan las fuerzas en estos puntos.

$$F_1 = \frac{100 \times Rab}{146} = 48733,02 \text{ N}$$

$$F_2 = \frac{46 \times Rab}{146} = 22417,1894 \text{ N}$$

Estas fuerzas afectan mediante el mecanismo de variación de compresión los apoyos del eje excéntrico, los cuales también deben soportar estas cargas, F'_1 y F'_2 son las reacciones en los apoyos del cigüeñal que son igual magnitud de F_1 Y F_2 pero de dirección contraria. Ya que las áreas transversales de las piezas involucradas en el mecanismo de variación de volumen del motor modular son grandes, se asumen que las deformaciones causadas por estas fuerzas son mínimas y se dice para facilidad de cálculo de que son un cuerpo rígido.

Ilustración 13. Diagrama de cuerpo libre de cigüeñal



$$F'_1 = -F_1$$

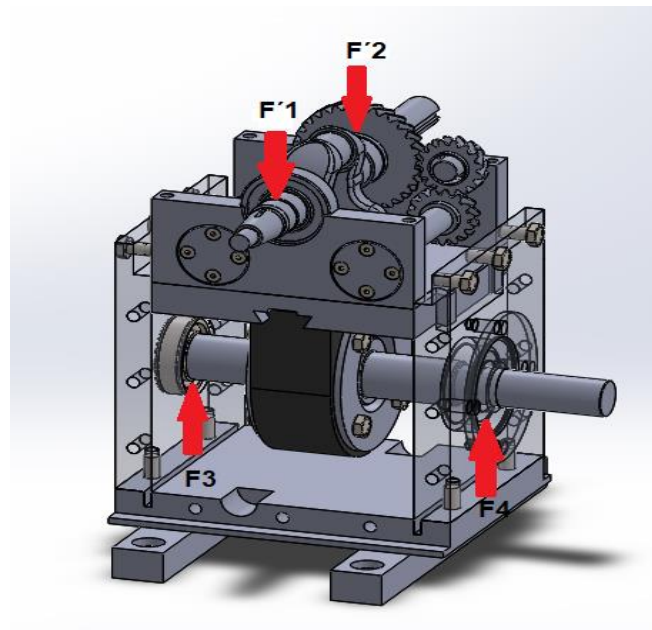
$$F'_2 = -F_2$$

F_3 y F_4 son las reacciones causadas en los apoyos del eje excéntrico por las presiones de los gases de combustión y las fuerzas de inercia de los elementos internos del motor modular.

$$F_3 = \frac{98 \times (F'_1 + F'_2)}{198,8} = 35074,047 \text{ N}$$

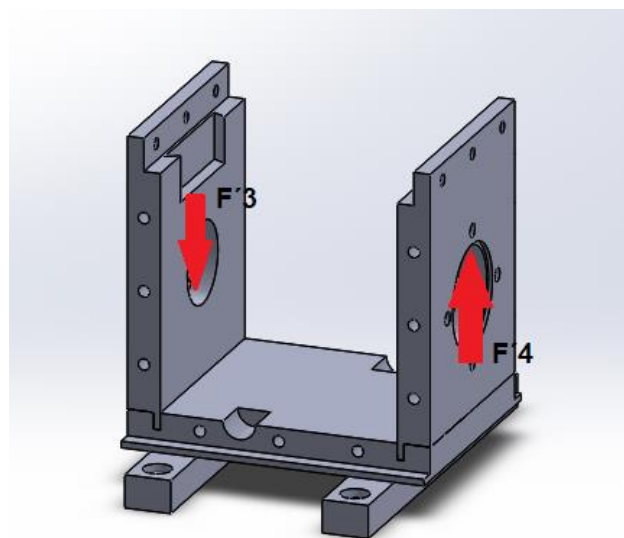
$$F_4 = \frac{73 \times (F'_2 - F'_1)}{198,8} = -9663,25 \text{ N}$$

Ilustración 14. Diagrama de fuerzas en apoyos de cigüeñal y eje excéntrico



Fuerza	Magnitud	Unidad	Pieza de acción
Fuerza 1 [F'1]	48733,02055	[N]	Móvil 21
Fuerza 2 [F'2]	22417,18945	[N]	Móvil 11
Fuerza 3 [F'3]	-35074,04718	[N]	Posterior Cáster
Fuerza 4 [F'4]	9663,257897	[N]	Lateral Cáster

Ilustración 15. Esquema de acción en apoyos de eje excéntrica



2.5 CÁLCULO DE PARED DE LA CAMISA DEL MOTOR MODULAR

El diseño del cilindro se centra para condiciones de operación extremas (presión de operación máxima, temperatura de funcionamiento máxima)

La elección de composición de material para una efectiva transferencia de calor, es fundamental a la hora de diseñar el sistema de refrigeración. Desde la pared en contacto con el pistón hasta la camisa de agua de enfriamiento del cilindro.

La pared del cilindro está sujeta a la acción de la presión del gas y un empuje lateral causado por el pistón, aunque la acción de este empuje es mínimo y se puede despreciar, de esta forma la acción de la presión del gas produce dos tipos de esfuerzos en la pared del cilindro, uno es un esfuerzo circunferencial y otro longitudinal.

Lo principal del diseño de un cilindro es garantizar la resistencia y rigidez necesaria, evitar así la ovalización durante el ensamble del motor y en su tiempo de servicio. Para una aproximación inicial del espesor de la camisa se utiliza la fórmula para el cálculo de recipientes cilíndricos:

$$\delta = 0,5 B \times \left[\sqrt{\frac{\sigma_z + 0,4P_g}{\sigma_z - 1,3P_g}} - 1 \right]$$

Donde:

σ_z : Es el esfuerzo permisible a la tracción; Para camisas en fundición el rango es de 50 – 60 Mpa.

P_g : Es la presión de las gases máxima; Para la RC=14 en el motor modular es 18,8 Mpa.

B: Es el diámetro del cilindro; Para el motor modular es de 69,5 mm.

Se provoca una tensión térmica en las superficies del cilindro ya que entre las superficies interna y externa se desarrolla una diferencia de temperaturas, esta tensión térmica se expresa:

$$\sigma_t = \frac{E \cdot \alpha_c \cdot \Delta_t}{2(1 - \mu)}$$

Donde:

E: Módulo de elasticidad de la camisa.

α_c : Coeficiente de dilatación lineal.

ΔT : Diferencia de temperaturas en °C

μ : Coeficiente de poisson

El esfuerzo total debido a la acción de los gases y a la diferencia de temperatura en la superficie exterior es:

$$\sigma_{Ea} = \sigma_T + \sigma_t$$

Y en la superficie interior está dada por:

$$\sigma_{Ei} = \sigma_T - \sigma_t$$

Donde:

$$\sigma_T = 0,5 \cdot P_{Zmax} \cdot \frac{B}{\delta}$$

Como criterio de diseño el esfuerzo en la superficie exterior de la camisa en fundición no debe superar los 130 MPa.

Espesor de camisa:

$\sigma_z = 55 \text{ MPa}$; Resistencia a la tracción camisas en fundición.

$$\Delta = 0,5 B \times \left[\sqrt{\frac{\sigma_z + 0,4P_g}{\sigma_z - 1,3P_g}} - 1 \right] = 16,9 \text{ mm} \approx 17 \text{ mm}$$

$$\delta = 17 \text{ mm}$$

Para un esfuerzo de tracción de:

$$\sigma_T = 0,5 \cdot P_{Zmax} \cdot \frac{B}{\delta} = 38,42 \text{ MPa}$$

Tensión térmica provocada por el cambio de temperatura para $\Delta_t = 115\text{ }^{\circ}\text{C}$ (cálculo en etapa experimental) igual

$$\sigma_t = \frac{2 \times 10^5 \times 12,3 \times 10^{-6} \times 115}{2(1 - 0,3)} = 87,7 \text{ MPa}$$

Esfuerzo superficial en la parte externa de la camisa igual a:

$$\sigma_{Ea} = \sigma_T + \sigma_t = 126,35 \text{ MPa} < 130 \text{ MPa}$$

2.6 SIMULACIÓN DE ESFUERZOS

Para realizar un análisis completo del comportamiento de las piezas del bastidor sometidas a cargas causadas por la presión de los gases de combustión y fuerzas inerciales, se utiliza el software SIEMENS NX, que nos brinda una sencilla importación de datos de SolidWork, esto para realizar un análisis de esfuerzos y deformaciones que garanticen la rigidez del sistemas a las cargas que soportan.

Para validar la resistencia de las piezas tomamos como referencia la presión de gases mayor, obtenida con la relación de compresión (RC) de 14, utilizada para etanol.

$$P_g = 18,8 \text{ MPa}$$

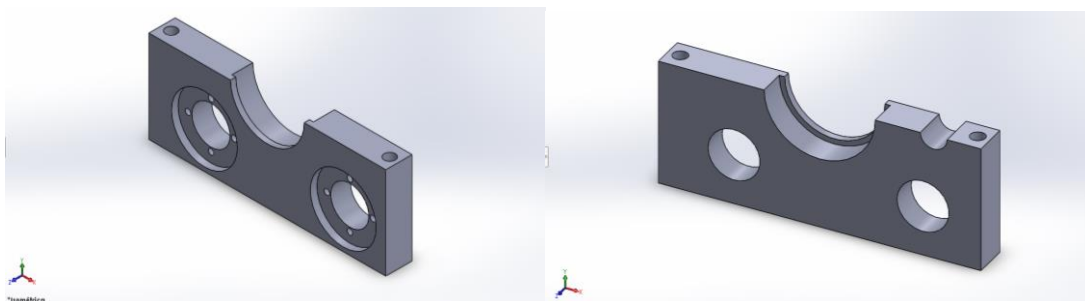
Para esta presión de gases de combustión, se desarrollan las siguientes fuerzas a considerar en la validación del diseño.

Fuerza	Magnitud	Unidad	Pieza de acción
Fuerza 1 [F'1]	48733,02055	[N]	Móvil 21
Fuerza 2 [F'2]	22417,18945	[N]	Móvil 11
Fuerza 3 [F'3]	35074,04718	[N]	Posterior Cáster
Fuerza 4 [F'4]	9663,257897	[N]	Lateral Cáster

2.6.1 PIEZAS PARA EL ANÁLISIS EN SIEMENS NX

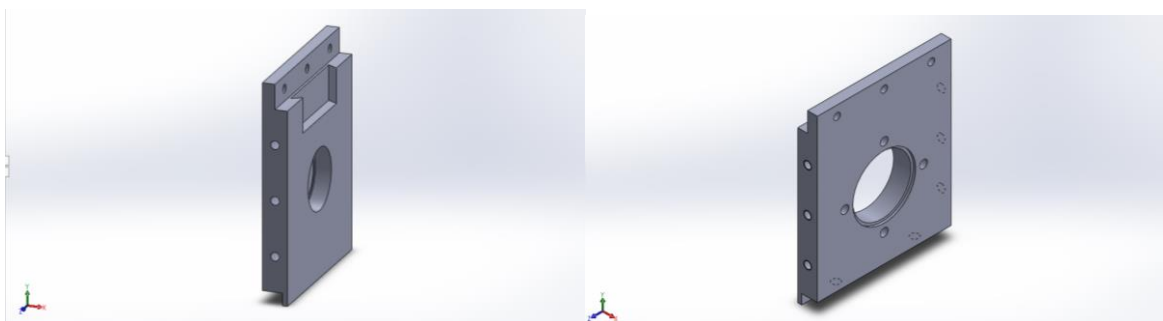
PIEZA MÓVIL 11, PIEZA MÓVIL 21

Ilustración 16. Piezas caja superior motor modular



PIEZA CÁRTER POSTERIOR, PIEZA CÁRTER LATERAL

Ilustración 17. Piezas caja superior motor modular



2.6.2 MATERIALES UTILIZADOS

Tabla 12. Propiedades de Materiales de Siemens NX

PIEZA	MATERIAL	DENSIDAD	MÓDULO DE YOUNGS	COEFICIENTE DE POISON	LÍMITE ELASTICO	TENSIÓN DE RÓPTURA	COEFICIENTE DE RESISTENCIA A LA FATIGA
MÓVIL 11	Aluminum 2014	2,794 kg/cm³	73119 MPa	0,33	393 MPa	441 MPa	1008 MPa
MÓVIL 21							
CÁRTER POSTERIOR							
CÁRTER LATERAL							

Se utiliza un material similar al duraluminio pero con límite elástico menor al de las piezas físicas, lo que termina por validar su resistencia.

Tabla 13. Propiedades de Material utilizado en modelo físico motor modular

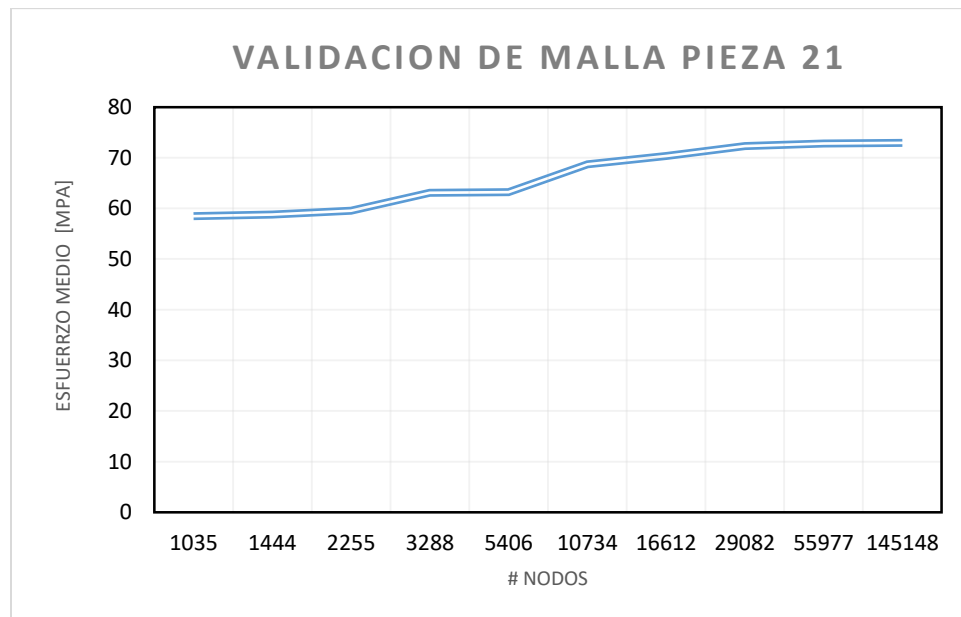
Material	Densidad	Módulo de youngs	Límite elásticos
Duraluminio	2,76 Kg/cm ³	72000 MPa	550 MPa

2.6.3 VALIDACIÓN DE MALLADO DE PIEZAS ANALIZADAS

Para validar el mallado se realiza simulaciones de diferentes tamaños de malla, desde 10 mm hasta llegar a 1 mm de tamaño de elemento, se verifica un esfuerzo medio en la zona donde se encuentran las mayores tensiones en cada pieza, y se busca una estabilidad en los esfuerzos en diferentes tamaños de elementos, para lograr un error porcentual menor a 1%

Pieza móvil 21

Ilustración 18. Variación de esfuerzo medio pieza móvil 21

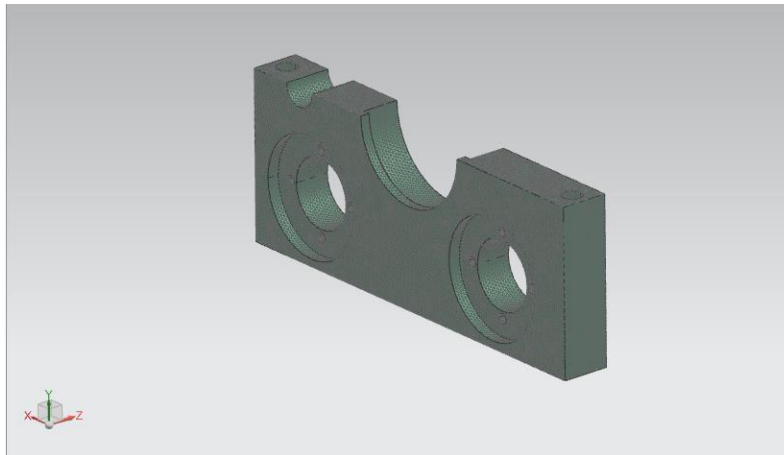


Se determina que el tamaño de elemento, para esta pieza es de 1,5 mm porque se llega a un error porcentual máximo de 0,7%

Nodos = 55977,

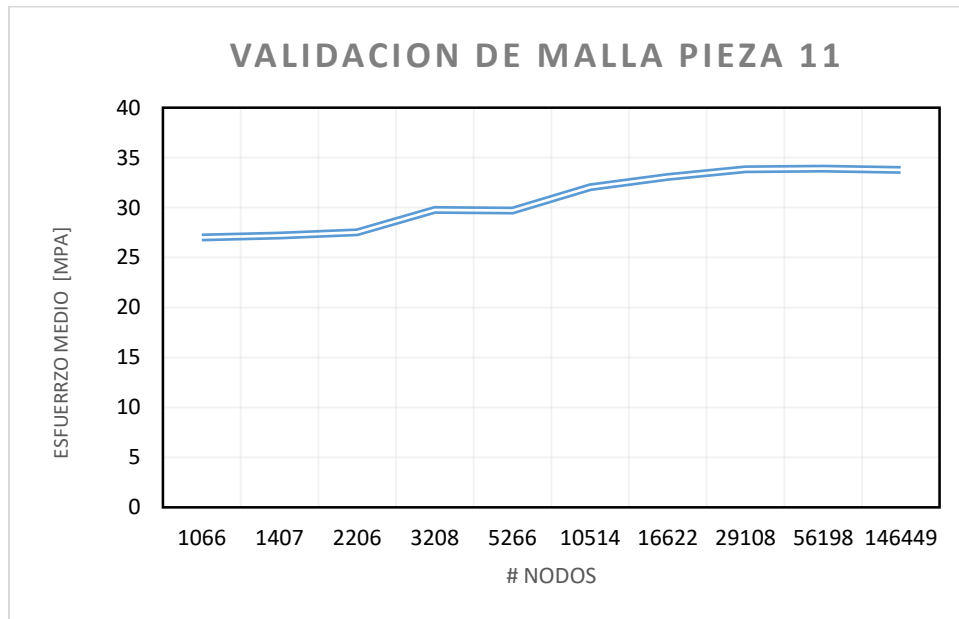
$$\sigma_{medio} = 72,809 \text{ MPa}$$

Ilustración 19. Malla pieza móvil 21



Pieza móvil 11

Ilustración 20. Variación de esfuerzo medio pieza móvil 11

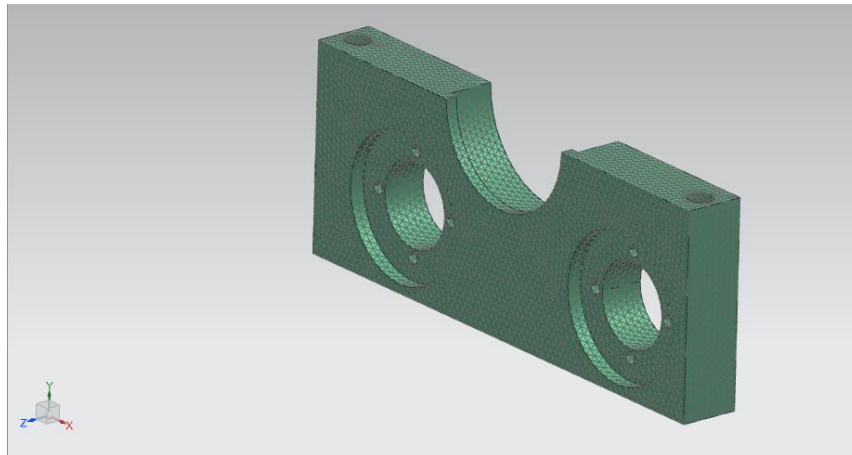


Se determina que el tamaño de elemento, para esta pieza es de 1,5 mm porque se llega a un error porcentual máximo de 0,38%

Nodos = 56198

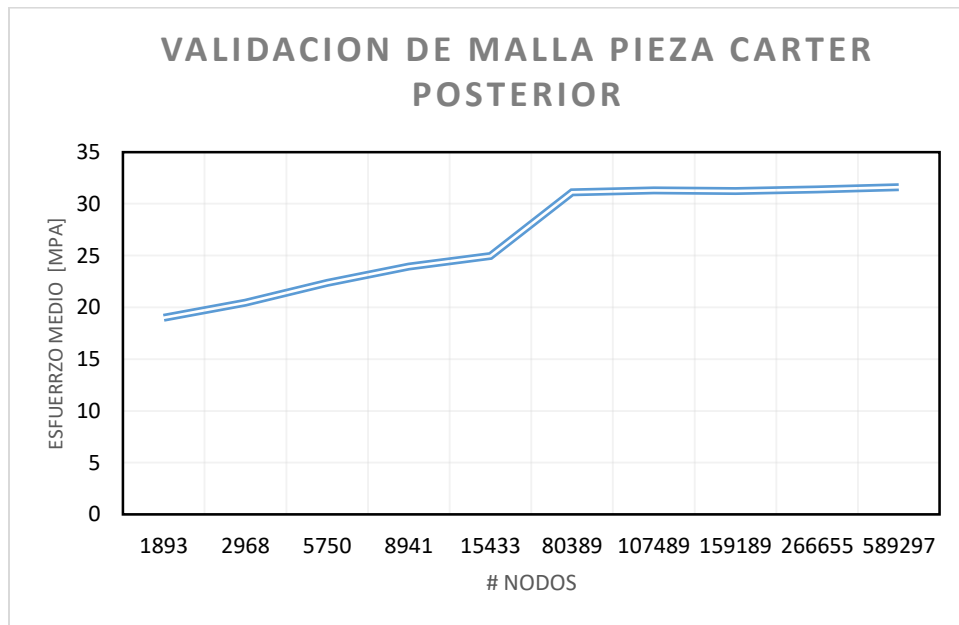
$\sigma_{medio} = 33,9 \text{ MPa}$

Ilustración 21. Malla pieza móvil 11



Pieza Cáster posterior

Ilustración 22. Variación de esfuerzo medio pieza cáster posterior

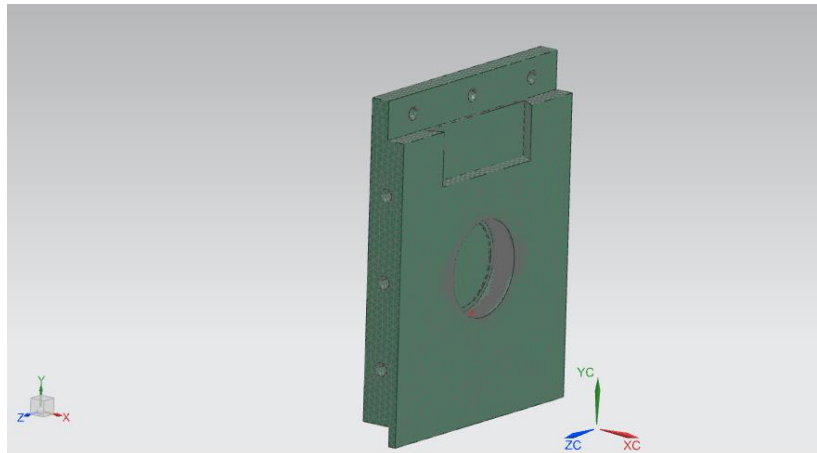


Se determina que el tamaño de elemento, para esta pieza es de 2,5 mm porque se llega a un error porcentual máximo de 0,63%

Nodos = 107489

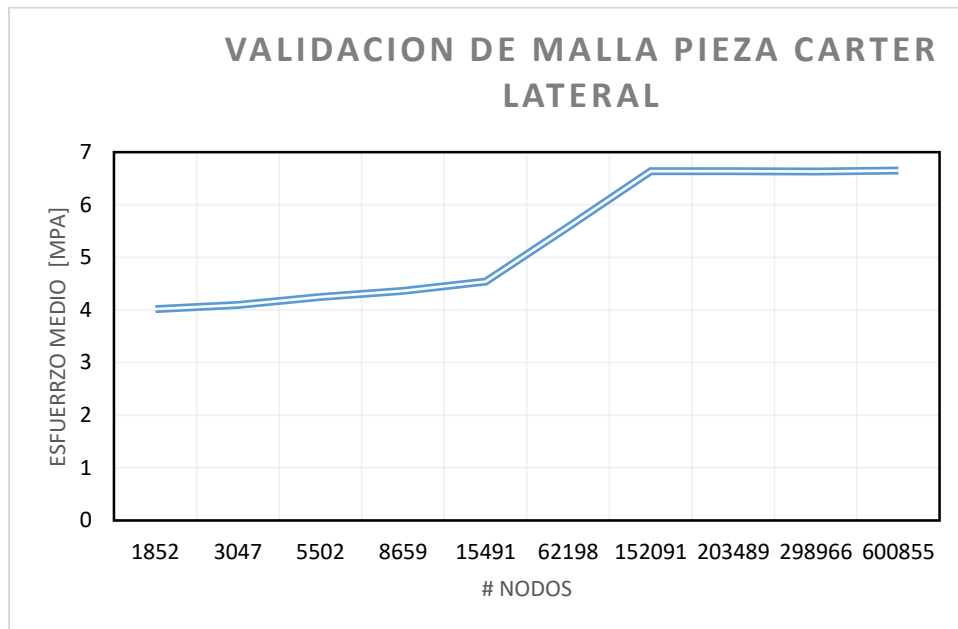
$\sigma_{medio} = 31,311 \text{ MPa}$

Ilustración 23. Malla pieza cárter posterior



Pieza Cártel lateral

Ilustración 24. Variación de esfuerzo medio pieza cárter lateral

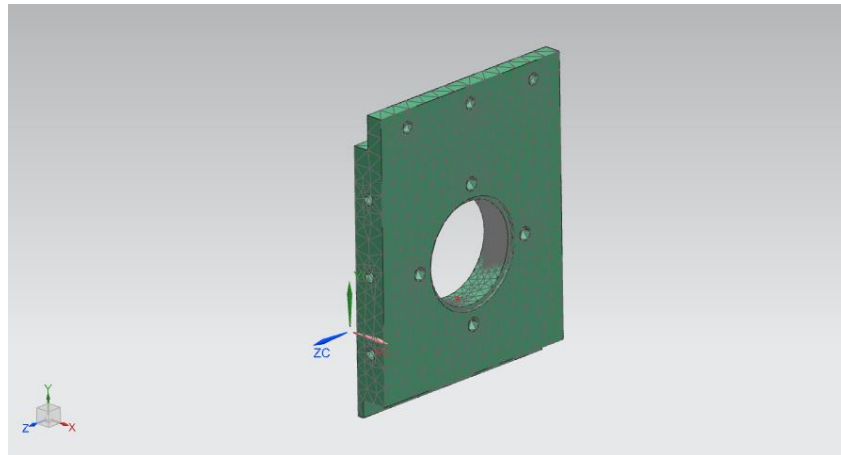


Se determina que el tamaño de elemento, para esta pieza es de 2 mm porque se llega a un error porcentual máximo de 0,069%

Nodos = 203489

$\sigma_{medio} = 6,6335 \text{ MPa}$

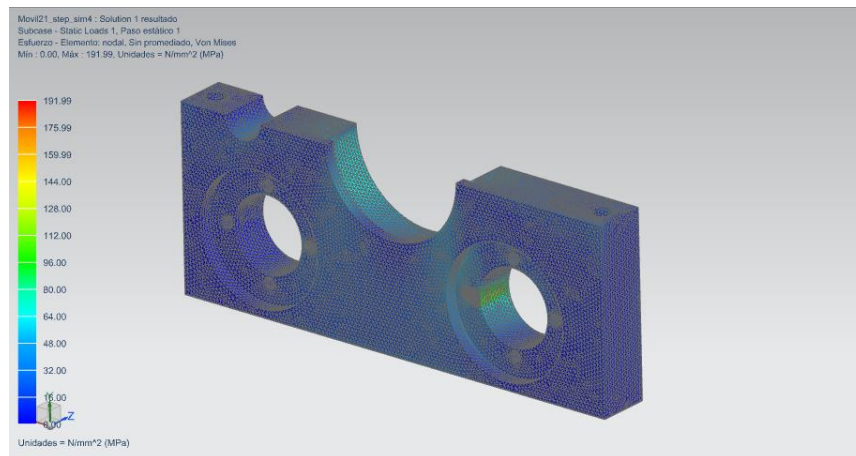
Ilustración 25. Malla pieza cárter posterior



2.6.4 ANÁLISIS ESTÁTICO DE PIEZAS MOTOR MODULAR

Pieza móvil 21

Ilustración 26. Resultado de simulación pieza 21



Se determinan los esfuerzos nodulares de la pieza móvil, en la cual se halla un valor máximo en la perforación derecha para los ejes de balanceos.

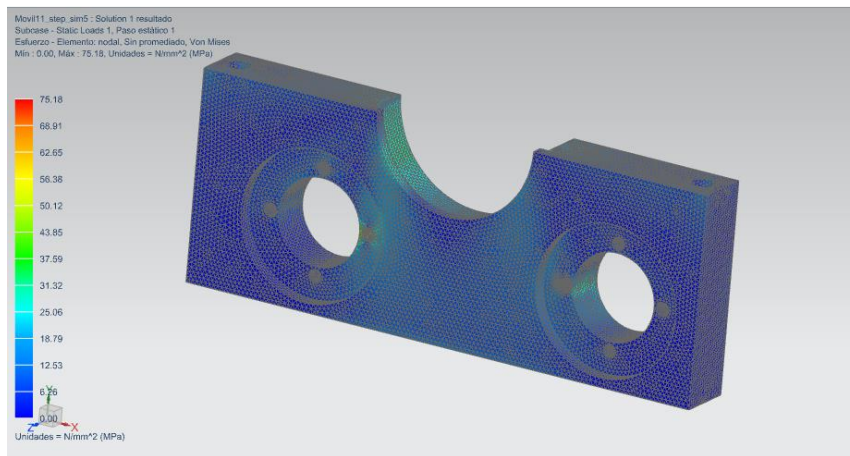
$$\sigma_{Maximo\ 21} = 191,99\ MPa$$

$$\sigma_y = 550\ MPa$$

$$F.S = \frac{\sigma_y}{\sigma_{Máximo\ 21}} = 2,86$$

Pieza móvil 11

Ilustración 27. Resultado de simulación pieza 11



Se determina los esfuerzos nodulares de la pieza móvil, en la cual se halla un valor máximo en la perforación izquierda para los ejes de balanceos.

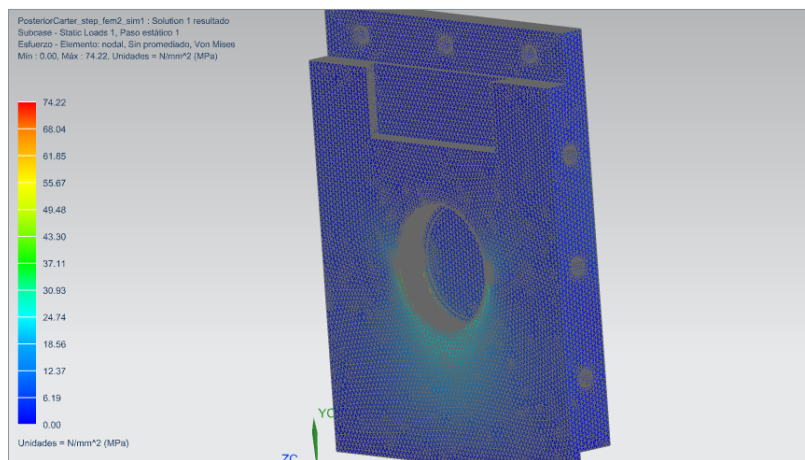
$$\sigma_{Maximo\ 11} = 75,18\ MPa$$

$$\sigma_y = 550\ MPa$$

$$F.S = \frac{\sigma_y}{\sigma_{Máximo\ 21}} = 7,31$$

Pieza Cáster posterior

Ilustración 28. Resultado de simulación pieza cáster posterior



Se determina los esfuerzos nodulares de la pieza cárter posterior, en la cual se halla un valor máximo en el apoyo del eje excéntrico.

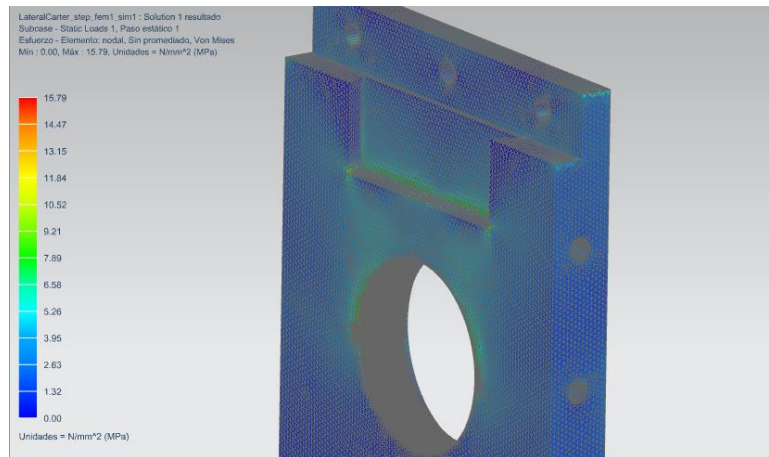
$$\sigma_{Maximo\ posterior} = 74,22\ MPa$$

$$\sigma_y = 550\ MPa$$

$$F.S = \frac{\sigma_y}{\sigma_{Máximo\ 21}} = 7,4$$

Pieza Cárter lateral

Ilustración 29. Resultado de simulación pieza cárter lateral



$$\sigma_{Maximo\ lateral} = 15,79\ MPa$$

$$\sigma_y = 550\ MPa$$

$$F.S = \frac{\sigma_y}{\sigma_{Maximo\ 21}} = 34,83$$

3. SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE MANUFACTURA

El hombre necesita para su existencia bienes materiales y culturales, casi siempre se debe que gastar trabajo con el fin de adaptar los objetos de la naturaleza mediante la transformación cualitativa y así dar satisfacción sus necesidades.

A la modificación cualitativa de los objetos de la naturaleza realizada por el hombre se le ha dado el nombre de proceso tecnológico. Cada producto que pasa por un proceso tecnológico puede satisfacer una u otra necesidad del hombre sólo si aquel posee la calidad que se determina por su designación o destino. Sin la calidad debida, el producto puede ser inservible y el trabajo invertido para su obtención y los recursos utilizados serán consumidos inserviblemente.

3.1 DETERMINACIÓN DE EXACTITUD DEL ESLABÓN DE CIERRE

Para las piezas del motor modular se debe garantizar la calidad en sus procesos tecnológicos, que le ayudarán a proporcionar la exactitud requerida a los elementos de cierre de las superficies de operación y ensamble críticas.

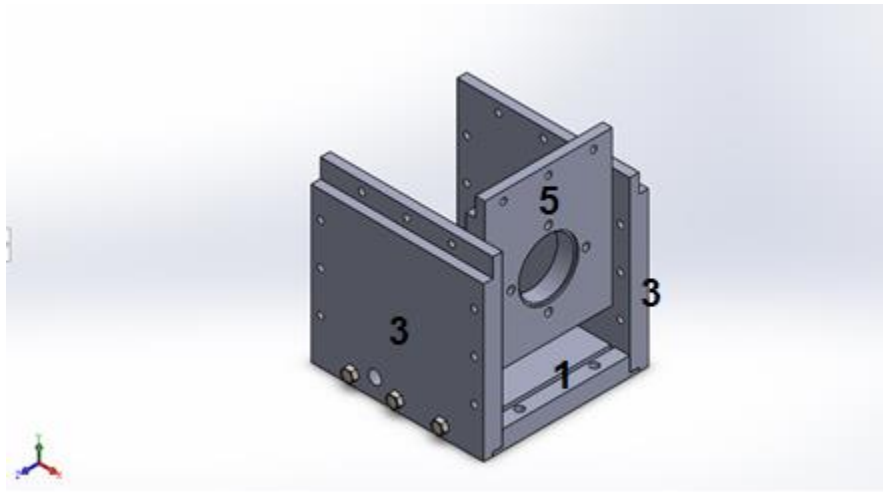
3.1.1 UNIONES CRÍTICAS PARA EL PROCESO DE ENSAMBLE Y FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR MODULAR

Para le estructura del motor modular se identifica como crítica la cadena dimensional de unión entre las placas frontal, posterior y lateral de la caja inferior, ver ilustración 30.

Entre 3, 1 y 5 se determinan la holgura mínima para que se pueda emplear un ensamble manual con ajuste deslizante. En la tabla 18 se determinan los ajustes principales con juego, ajuste y apriete y para el caso se utiliza un apriete pequeño H7/j6

Donde: 1 es la pieza base del cárter, 3 son las piezas frontal y posterior del cárter inferior y 5 es la pieza lateral del cárter inferior.

Ilustración 30. Ensamble cárter inferior (Alojamiento eje excéntrico)



Determinando que para la unión entre los eslabones 3, 5, con una medida nominal de agujero y eje de 170 mm debe existir las siguientes holguras:

$$J_{max} = 0,076 \text{ mm}$$

$$J_{min} = 0,011 \text{ mm}$$

El ajuste adecuado entre la placa 5, que forma la estructura del cárter inferior, debe garantizar una holgura necesaria para el ensamble y el deslizamiento en el funcionamiento de la placa móvil que sirve de apoyo de las bancadas del cigüeñal (Placas flotantes) ver ilustración 31.

Entre 4, 8 y 5 se determina la holgura mínima para que se pueda emplear un ensamble manual y con un juego pequeño que permita el movimiento relativo de la pieza 8 entre las piezas 4 y 5. En la tabla 18 se determina los ajustes principales y para este caso se utiliza un ajuste H7/g6.

Tabla 14. Ajustes principales según la funcionalidad de la unión entre piezas

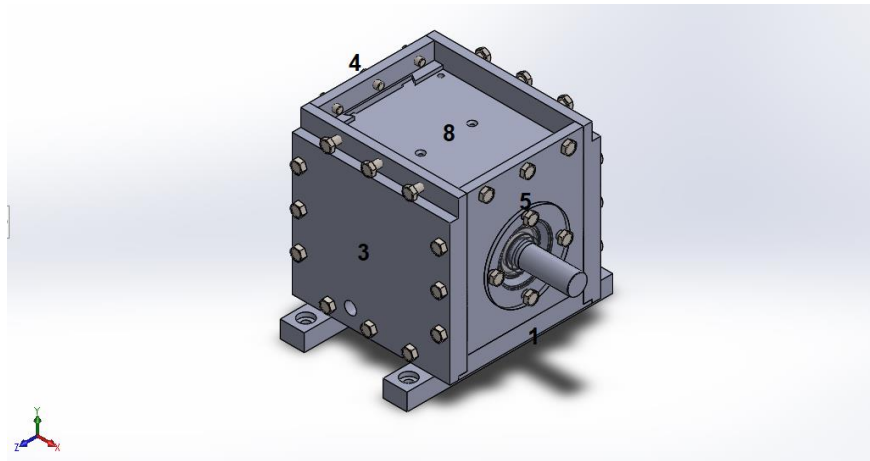
AJUSTE PRINCIPALES			H6	H7	H8	H9	H11
Juego Grande	Ensamblajes cuyo funcionamiento requiere juego amplio por Dilataciones, mala alineación, cojinetes grandes, etc.	c				9	11
		d				9	11
Juego Mediano	Piezas que giran o se deslizan con una buena lubricación	e		7	8	9	
		f	6	6-7	7		
Juego Pequeño	Piezas con guía y movimientos de pequeña amplitud	g	5	6			
Ajuste Exacto		h	5	6	7	8	
Aprieto Pequeño	El ensamble se puede hacer a mano, la unión no puede transmitir esfuerzos.	Ensamble a mano	j	5	6		
			k	5			
Aprieto Mediano	Se puede montar y desmontar	Ensamble a mano con maceta	m		6		
			p		6		
Aprieto Grande	Imposible desmontar sin deterioro. La unión puede transmitir esfuerzos	Ensamble Prensa	a	s		7	
		Ensamble a Prensa o por dilatación	u			7	
			x			7	

Determinando que para la unión entre los eslabones 4, 8, con una medida nominal de agujero y eje de 100 mm deben existir las siguientes holguras:

$$J_{max} = 0,09 \text{ mm}$$

$$J_{min} = 0,015 \text{ mm}$$

Ilustración 31. Ensamble cárter inferior con placa móvil (Alojamiento eje excéntrico)



3.1.2 MÉTODO DE ASEGURAMIENTO DE LA PRECISIÓN DEL ESLABÓN DE CIERRE DE LAS UNIONES DE ENSAMBLE CRÍTICAS

Ilustración 32. Ensamble placa lateral cárter inferior

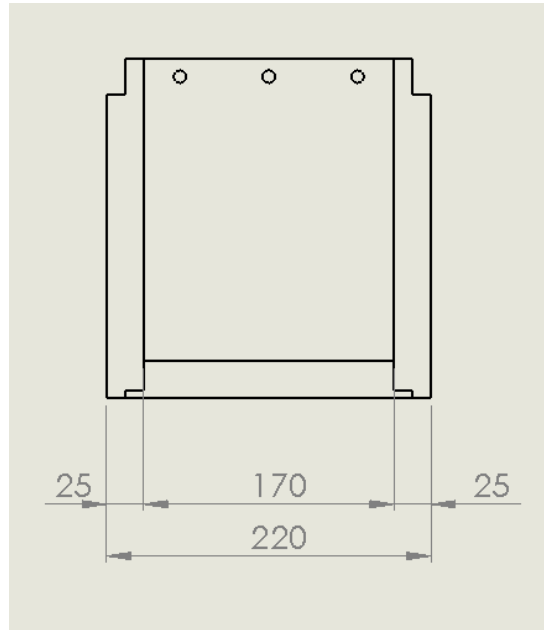
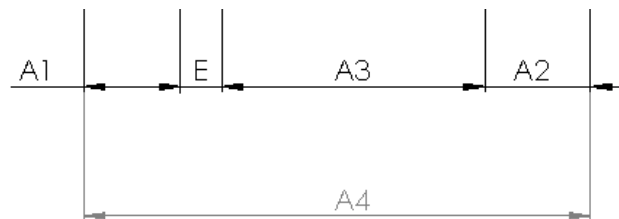


Ilustración 33. Cadena dimensional para ensamble placa lateral cárter inferior



Para asegurar la holgura ϵ entre la pieza 3 y 5, que es el tope de la placa lateral con las placas frontal y posterior del cárter inferior se aplica el método de intercambiabilidad no completa, la holgura ϵ es el eslabón de cierre de la cadena dimensional y su magnitud está dada por el ajuste necesario para realizar un ensamble manual sin transmisión de fuerzas.

$$A1 = 25 \text{ mm}, A2 = 25 \text{ mm}, A3 = 170 \text{ mm}$$

De la funcionalidad del dispositivo se deduce que la holgura mínima $\epsilon_{menor} = 0,011 \text{ mm}$ ($EI_{\epsilon} = 0,011 \text{ mm}$) y la mayor $\epsilon_{mayor} = 0,076 \text{ mm}$ ($ES_{\epsilon} = 0,076 \text{ mm}$). Donde su campo de tolerancia es:

$$T_{\epsilon} = ES_{\epsilon} - EI_{\epsilon} = 0,076 \text{ mm} - 0,011 \text{ mm} = 0,065 \text{ mm}$$

La coordenada del centro del campo de tolerancia es:

$$Ec_{\epsilon} = 0,5 (EI_{\epsilon} + ES_{\epsilon}) = 0,0435 \text{ mm}$$

Para la aplicación del método de intercambiabilidad no completa se debe cumplir la siguiente condición:

$$T_{\epsilon} = t_{\epsilon} \sqrt{\sum_{i=1}^m \epsilon_{Ai}^2 \lambda_{Ai}^2 T_{Ai}^2}$$

t_{ϵ} : coeficiente de riesgo

λ_{Ai}^2 : coeficiente que tiene en cuenta la ley de la distribución de las medidas de la cadena A_i

Tabla 15. Valores del coeficiente de riesgo $t_{A\Delta}$

Párametros de riesgo %	$t_{A\Delta}$
0,01	3,89
0,1	3,29
0,27	3,0
1,0	2,57
4,5	2,0
10	1,65
33	1,0

Tabla 16. Valores del coeficiente de dispersión relativa λ_{Ai}^2

Ley de dispersión de desviación de las medidas	λ_{Ai}^2
Igual probabilidad	1/3
Simpson	1/6
Gauss	1/9

Se toma $t_{\epsilon} = 3$ (en este caso el riesgo $P = 0,27\%$ y $\lambda_{Ai}^2 = \frac{1}{9}$; las condiciones de fabricación de las piezas es tal que la distribución de las desviaciones de las medidas será cercano a la ley de gauss), lo que simplifica la ecuación a:

$$T_{\epsilon} = \sqrt{\sum_{i=1}^m T_{Ai}^2} = \sqrt{T_{A1}^2 + T_{A2}^2 + T_{A3}^2 + T_{A4}^2}$$

Teniendo en cuenta la utilización de los procesos tecnológicos de fresado, torneado y rectificado y sus valores de precisión, se selecciona una calidad de precisión IT6 de la norma EN-20286-1:1993

$$T'_{A1} = 0,013 \text{ mm}, T'_{A2} = 0,013 \text{ mm}, T'_{A3} = 0,025 \text{ mm}, T'_{A4} = 0,029 \text{ mm}$$

Entonces:

$$T'_{\epsilon} = 0,0428 \text{ mm} < T_{\epsilon} = 0,065 \text{ mm}$$

Como $T'_{\epsilon} < T_{\epsilon}$ la calidad IT6 cumple para dar ajuste a la cadena dimensional.

Para los campos de dispersión de las medidas se hallan los centros en cada eslabón.

$$E'_{CA1} = -0,0065 \text{ mm}, E'_{CA2} = -0,0065 \text{ mm}, E'_{CA3} = -0,0125 \text{ mm}, E'_{CA4} = 0,0145 \text{ mm}$$

Para la cadena dimensional de ajuste de la pieza 5 en la caja de cárter inferior, se tiene:

$$A1 = 25_{-0,013} \text{ mm}, A2 = 25_{-0,013} \text{ mm}, A3 = 170_{-0,025} \text{ mm}, A4 = 220^{+0,029} \text{ mm}$$

Ilustración 34. Placa móvil a cárter inferior

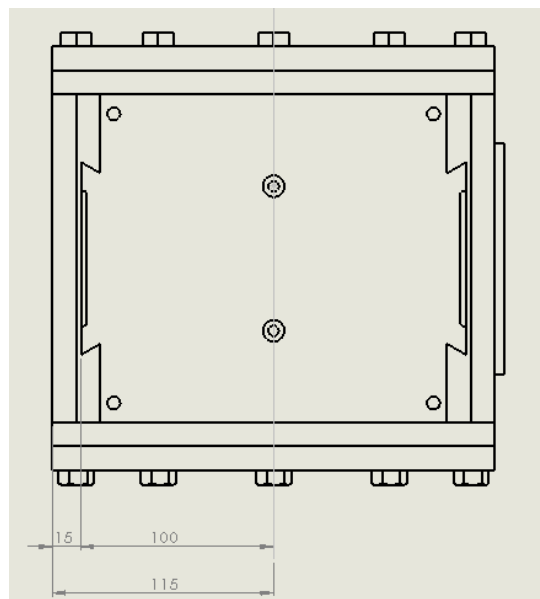
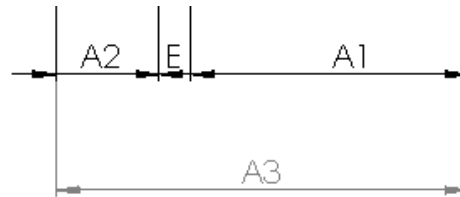


Ilustración 35. Cadena dimensional para ensamble placa móvil cárter inferior



Para asegurar la holgura ϵ entre la pieza 4 y 8 que es la cola de milano entre la placa lateral del cárter inferior y la placa móvil, se aplica el método de intercambiabilidad completa, la holgura ϵ es el eslabón de cierre de la cadena dimensional y su magnitud está dada por el ajuste necesario para realizar un ensamble manual con juego pequeña para guías con magnitud de movimiento pequeña.

$$A1 = 100 \text{ mm}, A2 = 15 \text{ mm}$$

De la funcionalidad del dispositivo se deduce que la holgura mínima $\epsilon_{menor} = 0,015 \text{ mm}$ ($EI_{\epsilon} = 0,015 \text{ mm}$) y la mayor $\epsilon_{mayor} = 0,09 \text{ mm}$ ($ES_{\epsilon} = 0,09 \text{ mm}$). Donde su campo de tolerancia es:

$$T_{\epsilon} = ES_{\epsilon} - EI_{\epsilon} = 0,09 \text{ mm} - 0,015 \text{ mm} = 0,075 \text{ mm}$$

La coordenada del centro del campo de tolerancia es:

$$Ec_{\epsilon} = 0,5 (EI_{\epsilon} + ES_{\epsilon}) = 0,0525 \text{ mm}$$

Para la aplicación del método de intercambiabilidad completa se debe cumplir la siguiente condición:

$$T_{\epsilon} = \sum_{i=1}^m |\epsilon_{Ai}| T_{Ai}^2$$

Los eslabones de la cadena dimensión A1 y A2 son disminuidores y el eslabón A3 es aumentador, por lo tanto:

$$\epsilon_{Ai} = -1: \text{ si el eslabón es disminuidor}$$

$$\epsilon_{Ai} = 1: \text{ si el eslabón es aumentador}$$

Conservando la calidad IT6 de la primera cadena dimensional, se realiza el análisis para la segunda cadena dimensional.

$$T'_{A1} = 0,022 \text{ mm}, T'_{A2} = 0,011 \text{ mm}, T'_{A3} = 0,022 \text{ mm}$$

Entonces:

$$T'_\varepsilon = 0,055 \text{ mm} < T_\varepsilon = 0,0075 \text{ mm}$$

Para los campos de dispersión de las medidas se hallan los centros en cada eslabón.

$$E'_{CA1} = -0,022 \text{ mm}, E'_{CA2} = 0,011 \text{ mm}; 0,022 \text{ mm}, E'_{CA3} = 0,022 \text{ mm}$$

Para la cadena dimensional de ajuste de pieza 5 en la caja de cárter inferior se tiene:

$$A1 = 100^{0,022} \text{ mm}, A2 = 15^{0,022}_{0,011} \text{ mm}, A3 = 115^{0,022} \text{ mm}$$

Las medidas generales se muestran en los planos de cada pieza que se encuentran en el anexo 1.

3.2 PROCESO DE ENSAMBLE DE CÁRTER INFERIOR Y SUPERIOR

Se clasifican las piezas del motor modular en grupos de ensambles como muestra la tabla 21 y se elabora una línea de montaje de 6 etapas que lleva a la finalización del armado del cárter inferior y superior, con sus componentes móviles internos (conjunto de piezas que sirven de apoyo al cigüeñal).

Ilustración 36. Ensamble de cárter inferior y apoyo del cigüeñal

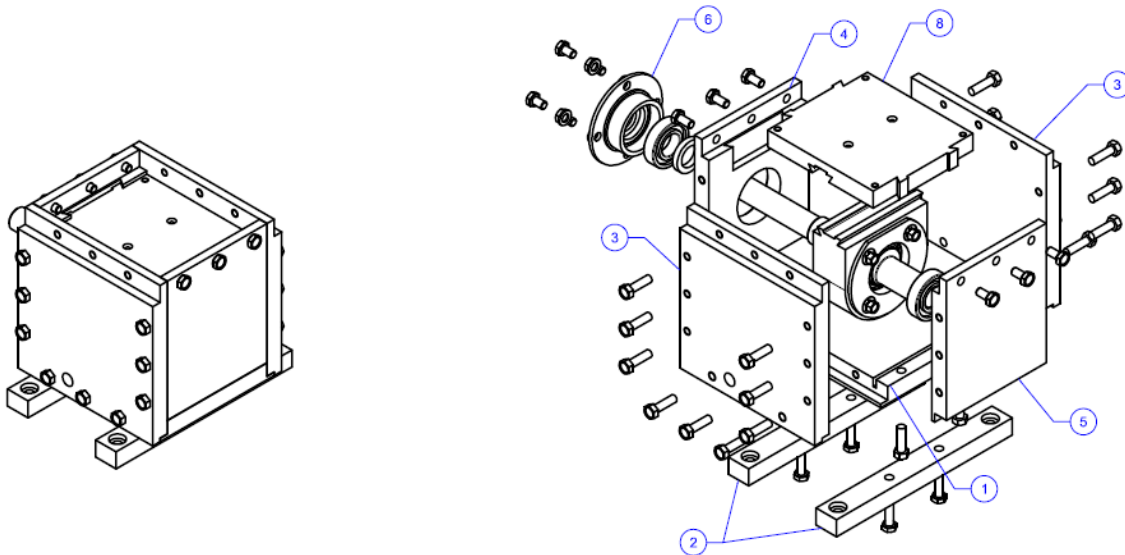
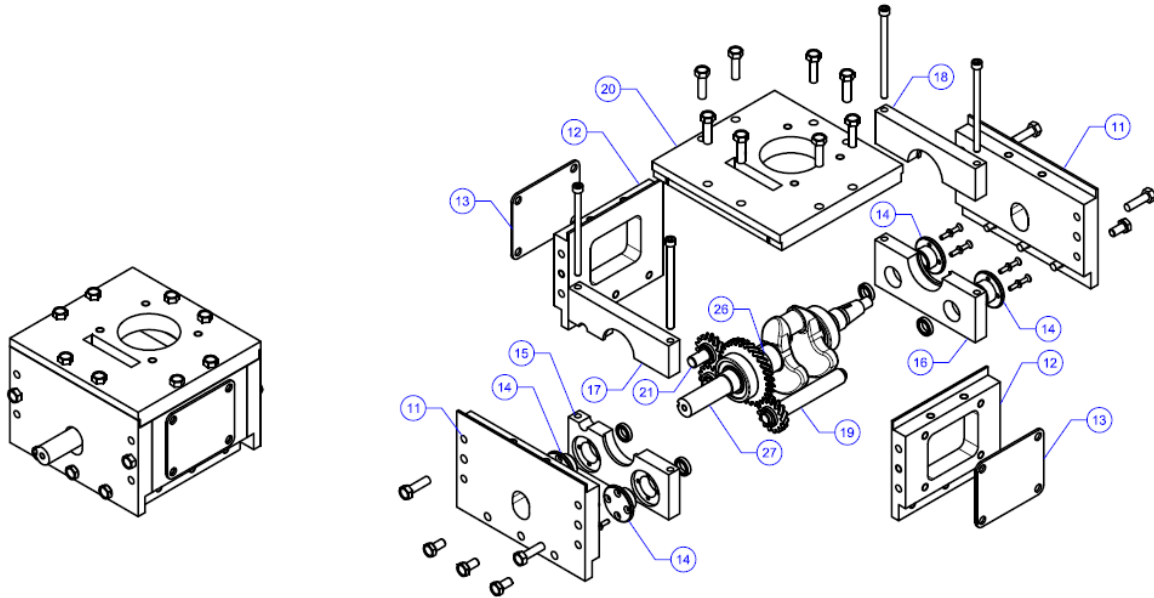


Ilustración 37. Ensamble de soporte del cigüeñal y cárter superior

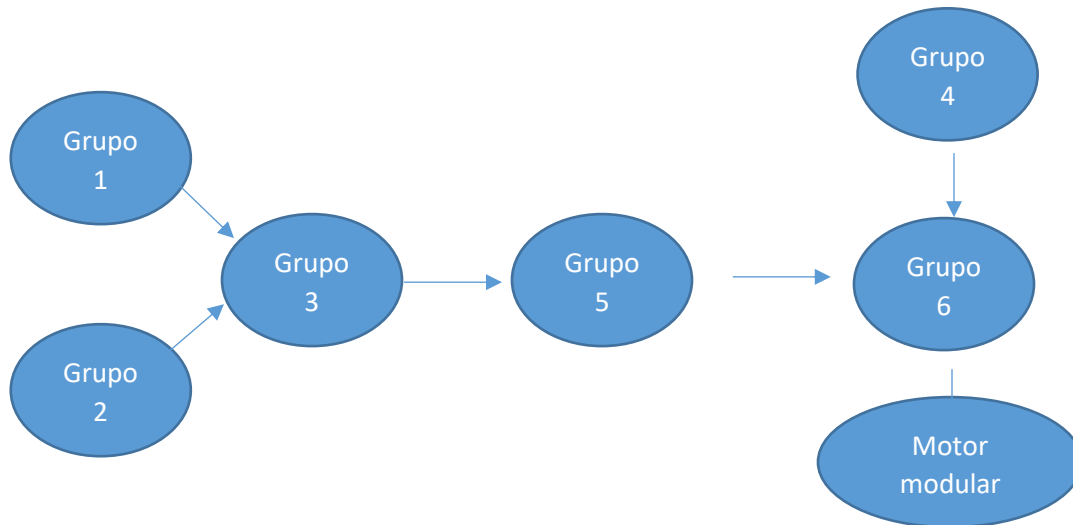


Se determina una ruta crítica para el ensamble del motor modular, ordenando las 6 etapas, que contienen pre-ensambles de ejes y accesorios como secciones del conjunto, en la ilustración 38 se especifica la ruta para dicho ensamble.

Tabla 17. Listado de piezas del cárter y apoyo del cigüeñal

#Grupo	# Pieza	Nombre de pieza	#Grupo	# Pieza	Nombre de pieza
Grupo 1	1	Base Cárter	Grupo 3	Grupo 1	Pre-ensamble cárter inferior
	2	Base apoyo		4	Lateral cárter
	3	Frontal Inferior cárter		6	Tapa Variador
	5	Posterior cárter	Grupo 4	19	Eje de balanceo
Grupo 2	8	Base móvil		21	Eje Loco
	9	Chumacera eje excéntrico		26	Juego de Piñones
	10	Tapa chumacera		27	Cigüeñal
Grupo 5	Grupo 3	Ensamble cárter inferior	Grupo 6	Grupo 4	Pre-ensamble ejes-piñones
	11	Frontal superior		Grupo 5	Pre-ensamble cárter móvil
	12	Lateral superior		17	Pieza móvil 22
	13	Protector superior		18	Pieza móvil 12
	14	Tapa rodamiento eje loco		20	Placa superior
	15	Pieza móvil 21			
	16	Pieza móvil 11			

Ilustración 38. Grupos y ruta de ensamble motor modular



3.3 PROCESOS TECNOLÓGICOS UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DEL MOTOR MODULAR

Los procesos de manufactura seleccionados para fabricación de las piezas del motor modular se escogen según su requerimiento de exactitud, en la tabla 22 se muestra la calidad de los procesos tecnológicos utilizados con más frecuencias en la industria basados en estadísticas.

Tabla 18. Calidad de procesos de formación por arranque de material

Tipo de máquina	Error [μm]
Cepilladora	100
Fresadora	50
Torno Paralelo	20
Rectificadora	1 a 5
Súper acabado y lapeado	0,5

Para el proceso de fabricación de las piezas del motor modular se utilizan operaciones de fresado mayormente, utilizadas en la placas de 25 mm de espesor que están compuestas, operaciones de torneado para mecanizados de ejes y tapas

y el rectificado para garantizar las tolerancias requeridas en las placas y ejes que garanticen un ensamble manual y desplazamiento libre de las partes con movimiento relativos entre ellas.

3.3.1 SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS Y DATOS DE CORTE

Para la selección de las herramientas utilizadas en cada operación se tiene en cuenta la geometría de la pieza, el material, la máquina herramienta a utilizar y el material de la herramienta.

La selección de la herramienta y las velocidades de trabajo de las piezas se hallan con las mismas variables, teniendo en cuenta lo anterior para el motor modular ya que las piezas se fabrican el duraluminio, para sus operaciones en torno y fresadora utilizamos los datos de la tabla 23, para el cálculo de la velocidad de corte y el avance longitudinal de la herramienta y pieza según la operación aplicada.

La profundidad de cada pasada se obtiene por catálogo de herramienta, teniendo en cuenta la geometría de la pieza y las propiedades de la herramienta, y si se va a realizar una operación de desbaste o acabado

Tabla 19. Velocidades de corte y avances para aluminio y herramienta de acero al carbono.

Material: Aluminio	Velocidad de corte [m/min]	Avance [mm/min]
Desbaste	60 – 80	80 – 120
Acabado	80 – 100	80 – 120

Para el desbaste de las medidas iniciales de las piezas se recomienda trabajar con velocidades moderadas, avances pequeños y profundidad de la pasada alta, ya que el objetivo es remover la mayor cantidad de material posible en el menor tiempo. En un proceso de acabado se requiere cumplir con condiciones de rugosidad superficial siendo provechosa para esto una velocidad de corte alta con avances y profundidades pequeñas para ayudar a conservar el filo y la integridad de la herramienta.

En las operaciones de rectificado, el objetivo es darle a las piezas del motor modular un ajuste adecuado a las medidas nominales con sus respectivas tolerancias dimensionales y superficiales, alcanzando ajustes de hasta 0,001 mm.

Para materiales de pieza como el aluminio se recomienda utilizar herramienta de rectificado de carburo de silicio, esta herramienta se utiliza para materiales de

dureza alta y buena resistencia a la tracción. Para acabados superficiales menores a 3 μm se utilizan tamaños de grano mayor o iguales a 220.

Tabla 20. Valores de velocidad periférica de pieza y muelas para rectificado

Material: Aluminio	V_c Herramienta [m/s]	V_c Pieza [m/min]
Exterior	35	
Previo		25 – 40
Acabado		20 – 30
Interior	30	28 – 32
Plano	25	8 – 14

La totalidad de las operaciones de mecanizados se encuentran en el anexo 2 donde se elaboraron para ruta tecnológica para las piezas del motor modular.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se abordó la tarea de diseñar el cárter, bloque y culata de un motor cuya estructura cinemática es similar al Robin EY-25 bajo un concepto modular para uso de laboratorio y que permitiera variar su relación de compresión. Se consideraron aspectos cinemáticos, dinámicos y de manufactura que condujeron a las siguientes conclusiones:

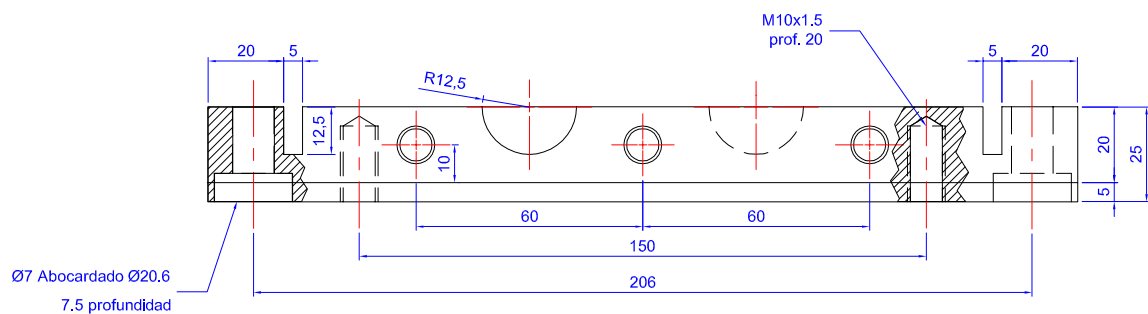
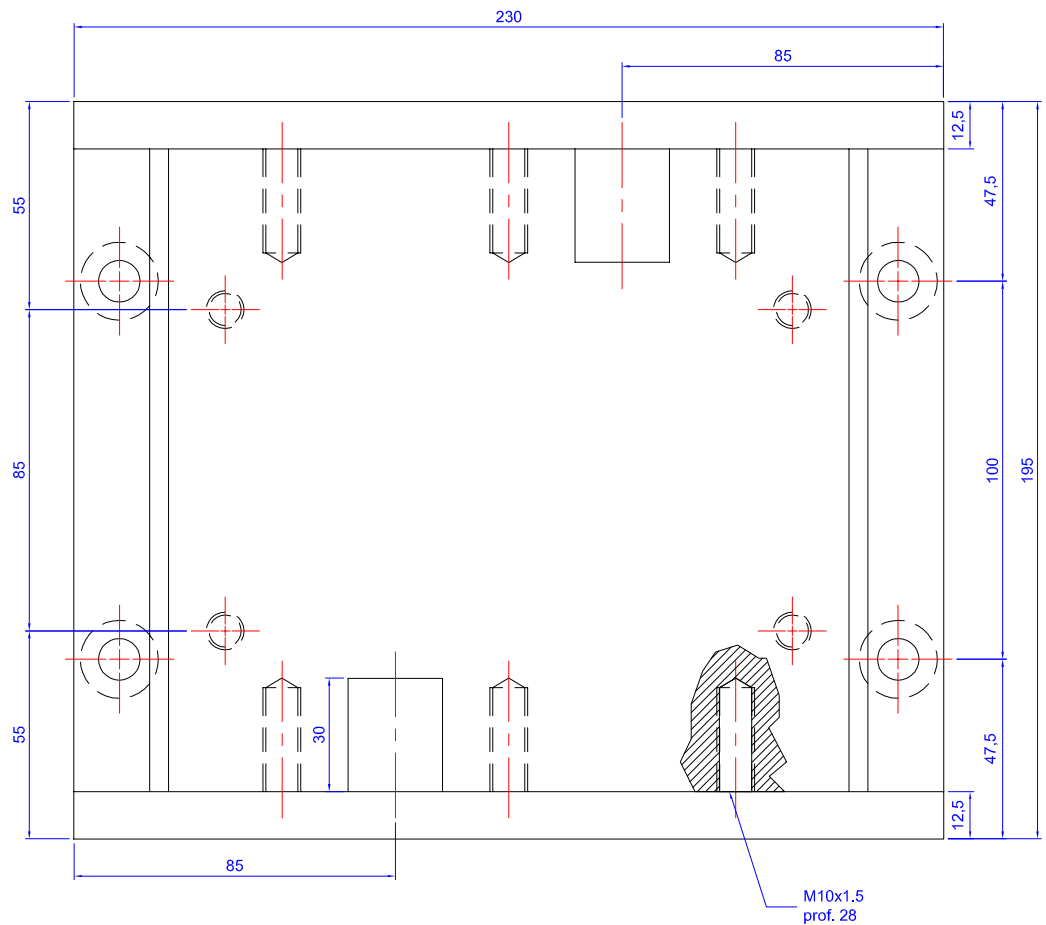
- Se logró diseñar a partir de un concepto modular el cárter, bloque y culata para un MCI que permite la utilización de elementos móviles del motor Robin EY-25 como biela, cigüeñal y que mantiene condiciones geométricas similares en la cámara de combustión.
- Se utilizó para el diseño y la manufactura materiales como el aluminio con densidades cercanas a 3 kg/m^3 con el fin de reducir el peso total del motor, por su fácil maquinabilidad, su característica antifricción y, además, por ser buen disipador de calor.
- Se utilizó un programa de diseño preliminar de motores elaborado en la Universidad Tecnológica de Pereira y Sículo 10 para determinar las cargas máximas generadas en el mecanismo móvil que se transmiten a la estructura, luego, con el uso del software Siemens NX se analizan las cargas a la que está sometida la estructura del motor, esto es, los apoyos del cigüeñal, el cilindro y el eje excéntrico donde y se concluye que los materiales y dimensiones calculadas son apropiados para la máxima relación de compresión al que estará sometido el motor modular.
- El diseño modular se concibió por grupos de piezas con el fin garantizar el aseguramiento de la precisión en su forma dimensional y de acabado superficial.
- Se seleccionaron procesos de manufactura y ensamble sencillos que pudieran ser realizados en nuestro entorno tecnológico.

BIBLIOGRAFÍA

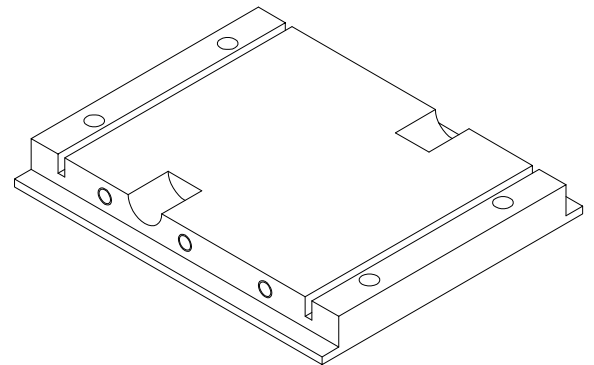
- Amestoy, M. E. (2004). *Apuntes de ingeniería de fabricación*. Cartagena: Universidad politécnica de cartagena.
- Benlloch Menchero, J. (2016). *Diseño de motor V6 de combustión interna. Generación de su prototipo virtual y simulación dinámica*. Valencia : Escuela Técnica Superior Ingenieros Industriales Valencia.
- Carlos, R. (2013). *Partes fijos y móviles de un motor, lubricantes y refrigerantes*. Universidad técnica estatal de Quevedo.
- CASSINI, S. (2005). *High Performance motorbike engine block structural calculation*. SAE TECHNICAL PAPER SERIES.
- Erlandsson, O. (1998). *Demonstrating the performance and emission characteristics of a variable compression ratio*. SAE Technical paper series .
- Georgiev, R. P. (2011). *Design a four-cylinder Internal Combustion Engine*. Universidad Pública de Navarra: Project and Engineering Department. Pamplona.
- Giraldo, O. E. (2015). *MODELADO TERMODINAMICO Y ESTRUCTURAL DE UN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA ALTERNATIVO*. PEREIRA : UTP.
- Hernandez, W. V. (1982). *Tecnología de Construcción de partes para motores en Colombia*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional De Colombia.
- Heywood, J. B. (1988). *Internal Combustion engine fundamentals*. McGraw-Hill.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. (1988). ISO system of limits and fits. *Bases of tolerances, deviations and fits (ISO 286-1)*.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. (1988). ISO system of limits and fits. *Bases of tolerances, deviations and fits (ISO 286-2)*.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. (1989). Tolerance for linear and angular dimensions without individual tolerance indications. *ISO - 2768-2*.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. (1989). Tolerances for linear and angular dimensions without individual tolerance indications. *ISO-2768-1*.
- Marquard, R., & Beste, F. (1999). *Design of SI engine regard to volume production beyond year 2000*. SAE Technical paper series.

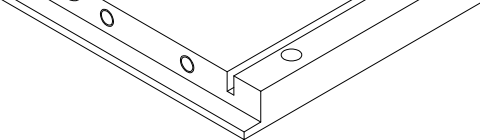
- MEJIA, A., & ROMERO, C. A. (1991). *Calculo y construccion de los motores de combustion interna para automoviles*. Pereira: Universidad Tecnologica de Pereira .
- Mercedes, Y., Morales, R., & Hernandez, A. (2014). *Caracterización de un motor de combustión interna con dos tipos de combustible*. Sanfandila: Secretaría de comunicacion y transportes, Instituto mexicano del transporte.
- Michael , H., Wolfram, W., & Johann, W. (2006). *BMW's magnesium- aluminium composite crankcase, state-of- the-art light metal casting and manufacturing*. SAE TECHNICAL PAPER SERIES.
- MOLINA, D., TORRES, J., PINTO, C., & RUEDA, F. (2002). ESTUDIO DE MEZCLA DE GASOLINA CON 10% DE ETANOL ANHIDRO. EVALUACION DE PROPIEDADES FISICOQUIMICAS. *CIENCIA, TECNOLOGIO Y FUTURO*.
- Muñoz, M., & Payri, F. (1994). Motores de combustion interna alternativos. *Servicio Publicaciones E.T.S. Ingenieros Industriales*, 3-25.
- Plamenov Georgiev, R. (2011). *Design a four-cylinder internacional combustion engine*. Pamplona: Project and engineering department. Universidad Publica de Navarra .
- Real, I. F. (2007). *Contribución metodológica en técnicas de diseñar para fabricación*. Girona: Tesis doctoral. Universidad de Girona.
- Robin Industrial Engine. (s.f.). *Service manual models EY-14, EY-18, EY-23, EY-25, EY-27*. Robin American ING.
- Romero, C. A. (2002). *Motores de combustion interna,Fundamentos de construccion y calcula*. Pereira.
- Ruiz, R. Á., & Blanco, I. A. (2012). *Industrialización de un bloque de motor*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.
- Tanaka, I., Shimamoto, T., Yamaguchi, T., & Nouguchi, J. (1992). *Engine weight reduction using alternative light materials*. SAE TECHNICAL PAPER SERIES.
- Turner, J., Kalafatis, A., & Atkins, C. (2006). *The design of the NOMAD advanced concepts research engine*. SAE TECHNICAL PAPER SERIES.
- VALLADOLID, U. D. (s.f.). *Introducción a los motores de combustión alternativos. Elementos constructivos*. Escuela de ingenieros industriales.

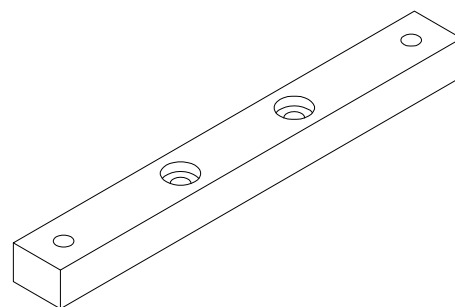
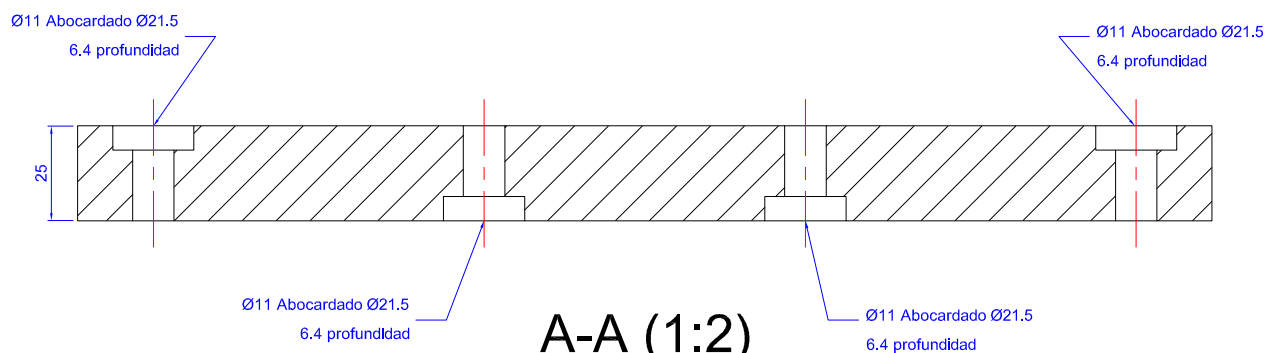
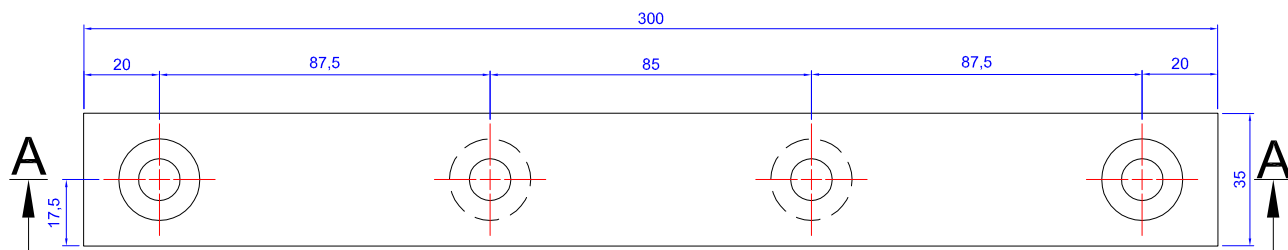
ANEXOS



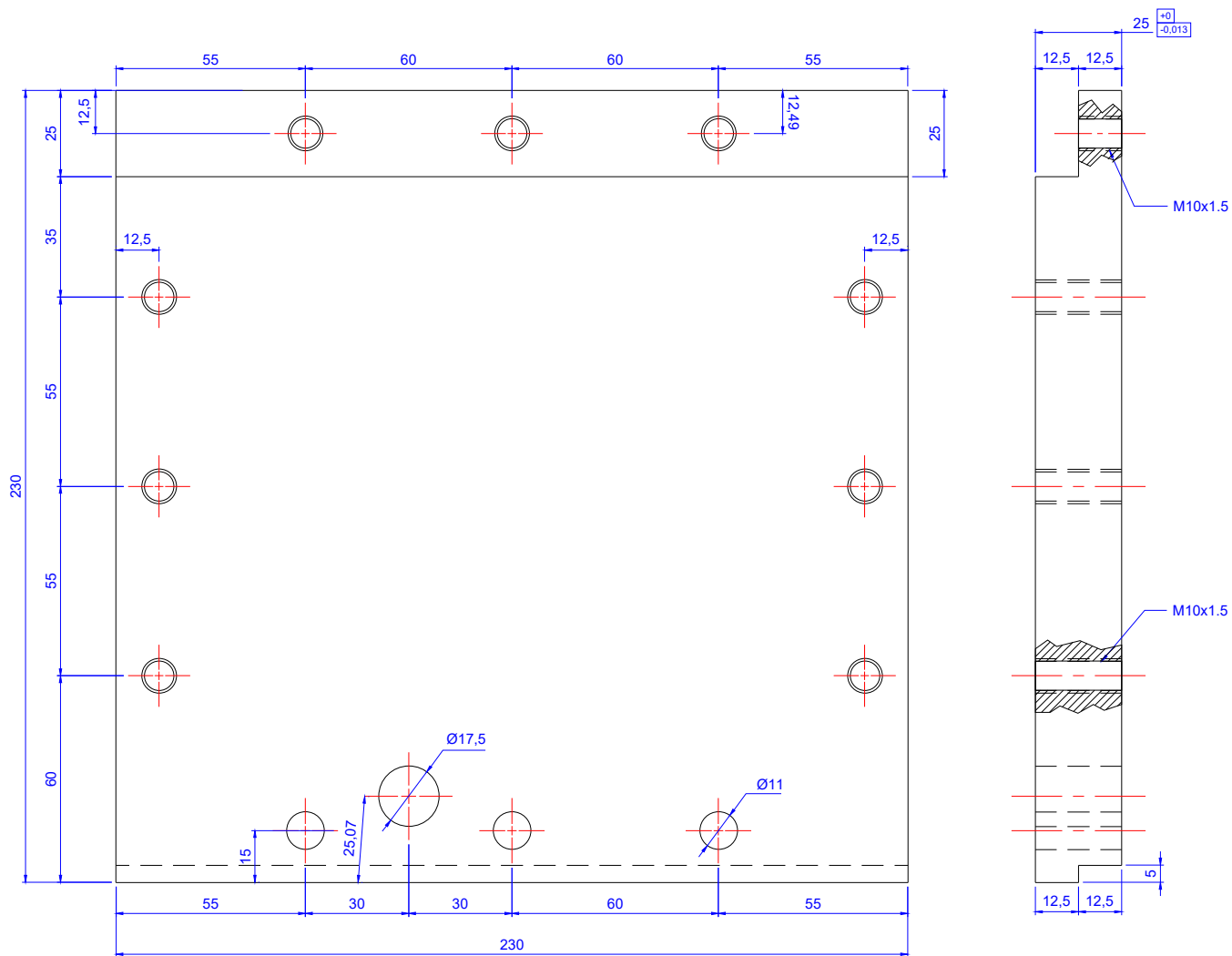
PIEZA 01
ESC. 1:2



DATOS				
MATERIAL	DURALUMINIO			
CANTIDAD	1			
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Construyendo				
Dibujó				
Revisado				
Aprobado				
Medidas: mm	MOTOR DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE			FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESC 1:2				HOJA: 1

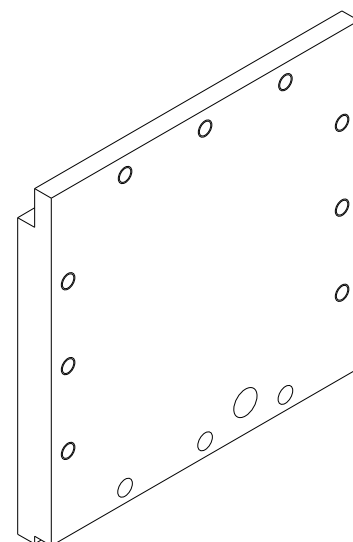


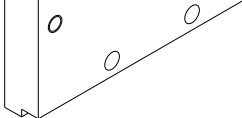
DATOS				
MATERIAL	DURALUMINIO			
CANTIDAD	2			
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Construyendo				
Dibujó				
Revisado				
Aprobado				
Medidas: mm	MOTOR DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE			FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESC 1:2				HOJA: 2

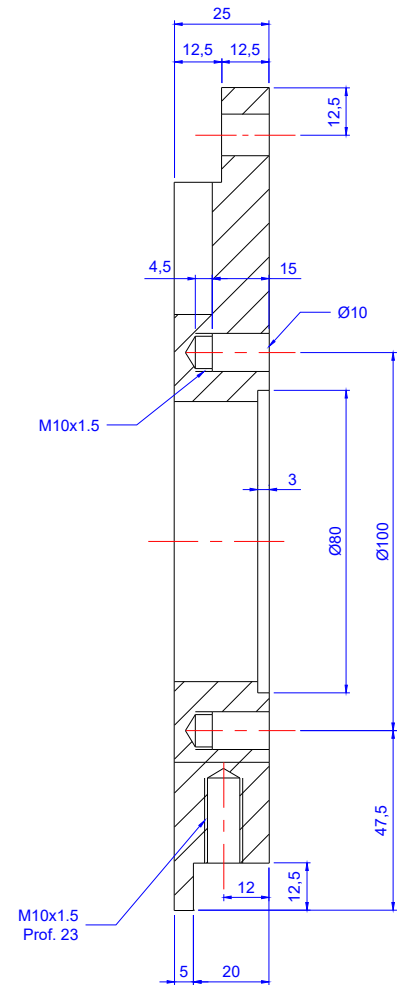
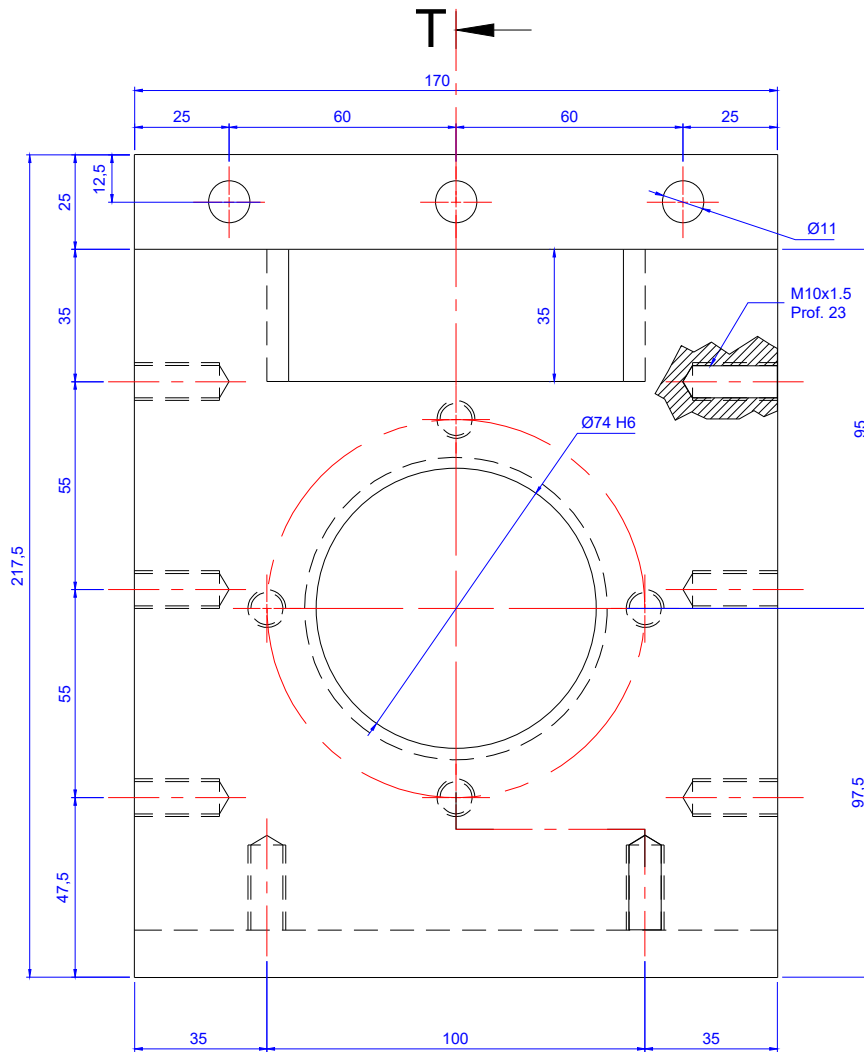
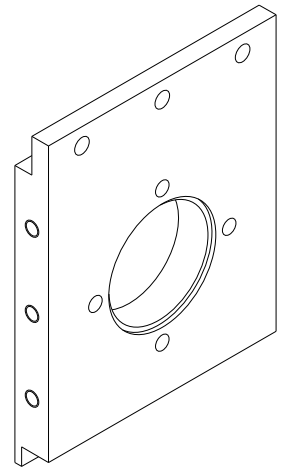
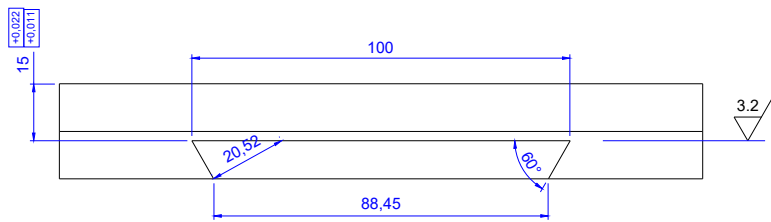


PIEZA 03

ESC. 1:2



DATOS				
MATERIAL	DURALUMINIO			
CANTIDAD	2			
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Construyendo				
Dibujó				
Revisado				
Aprobado				
Medidas: mm	MOTOR DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE			FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESC 1:2				HOJA: 3

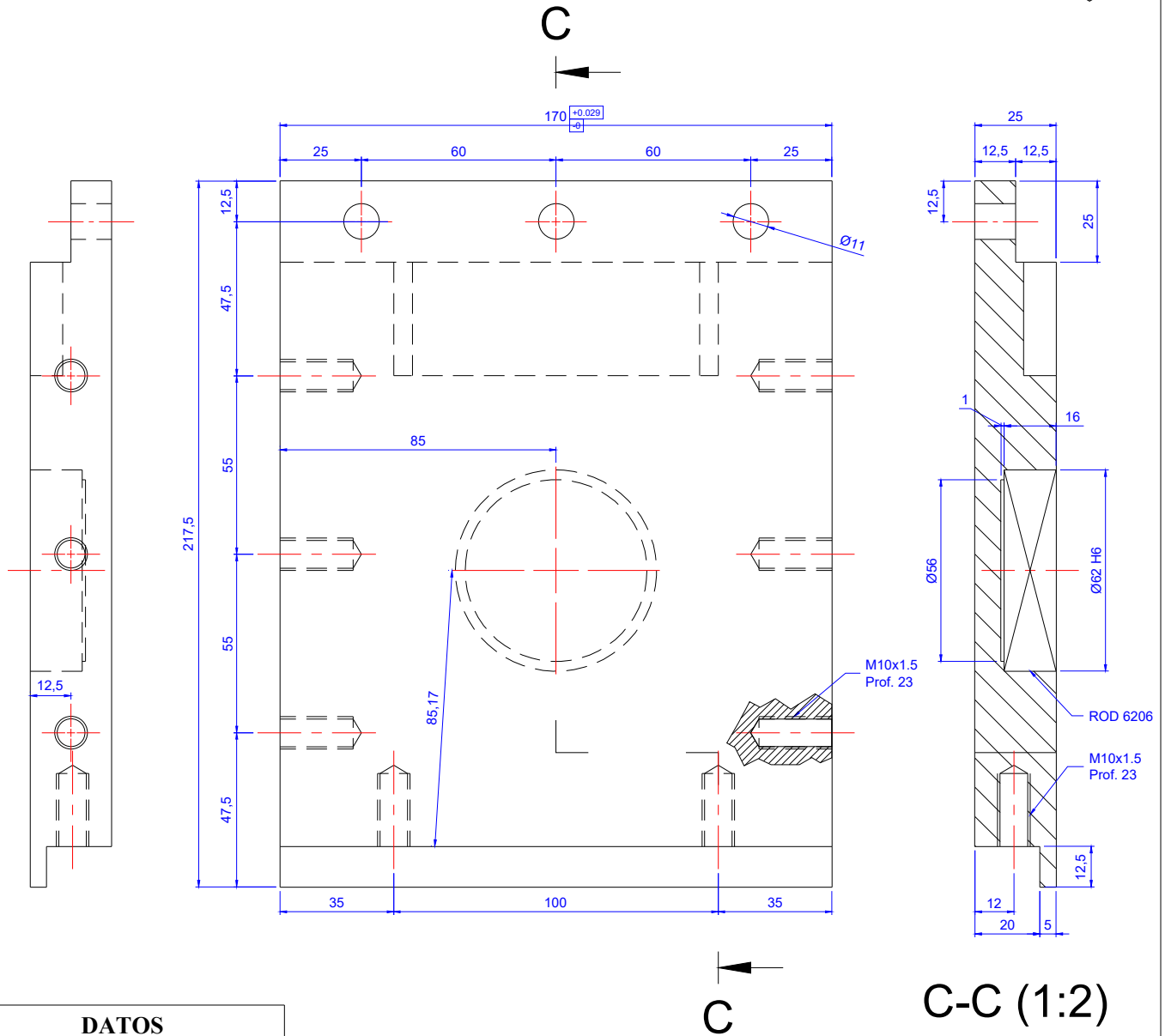
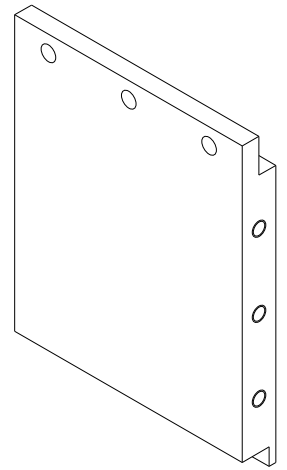
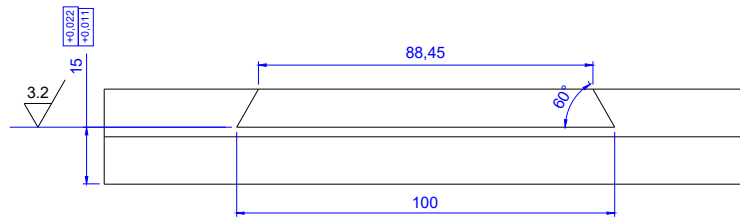


T-T (1:2)

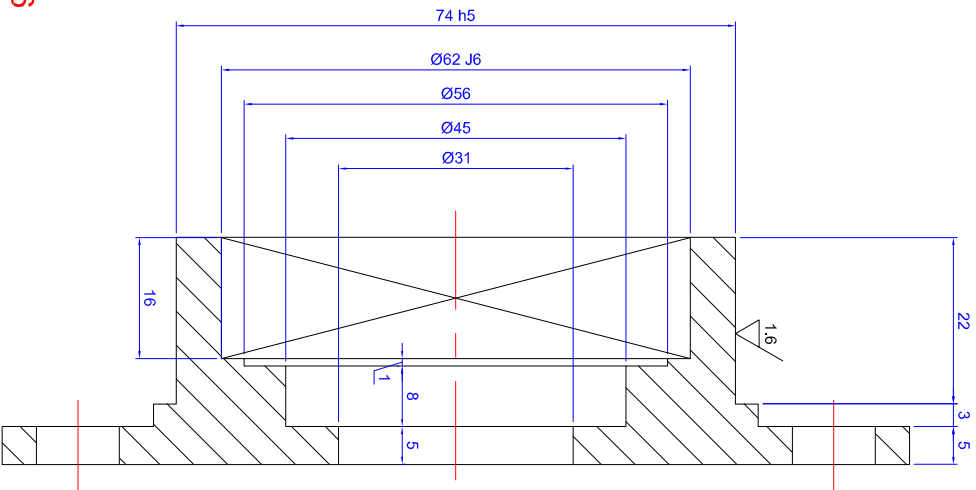
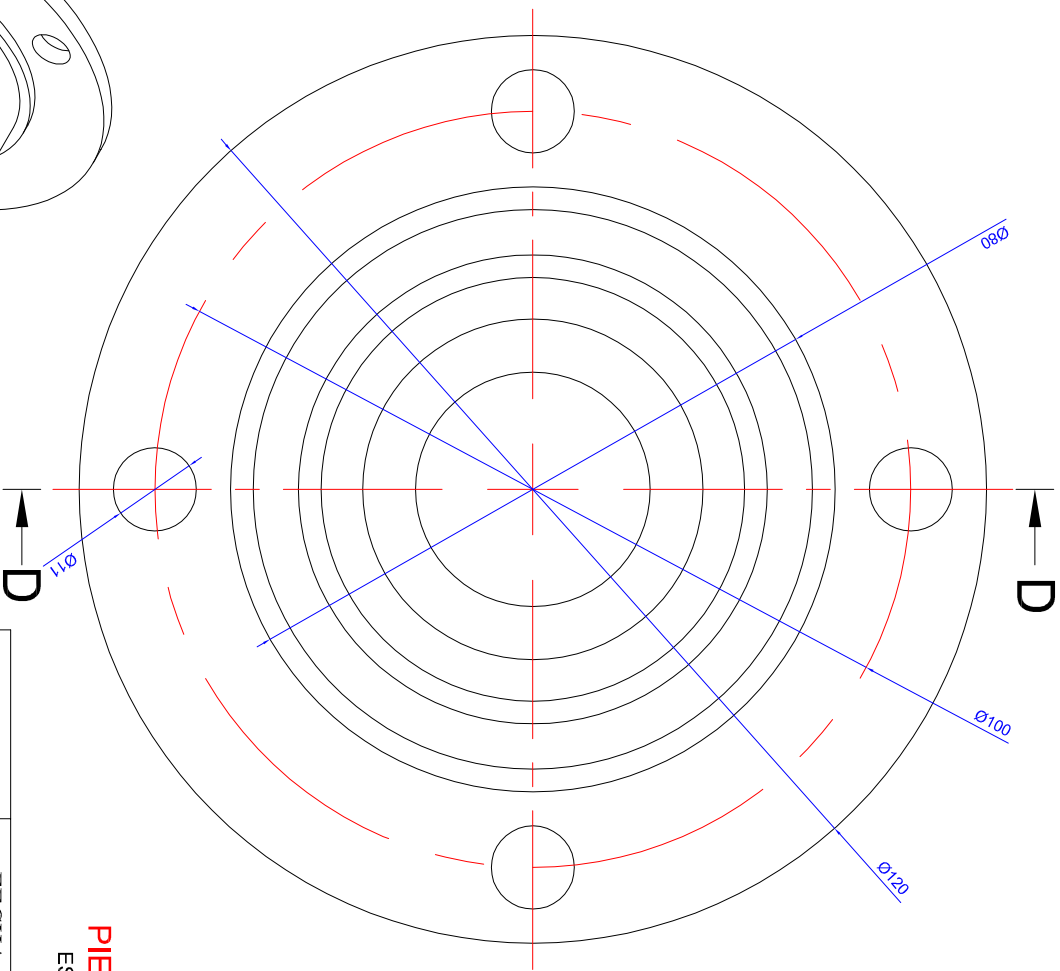
PIEZA 04

ESC. 1:2

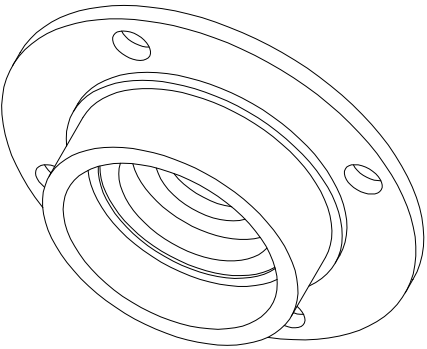
DATOS		ESC. 1:2		
MATERIAL	DURALUMINIO			
CANTIDAD	1			
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Construyendo				
Dibujó				
Revisado				
Aprobado				
Medidas: mm	MOTOR DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE			FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESC 1:2				HOJA: 4



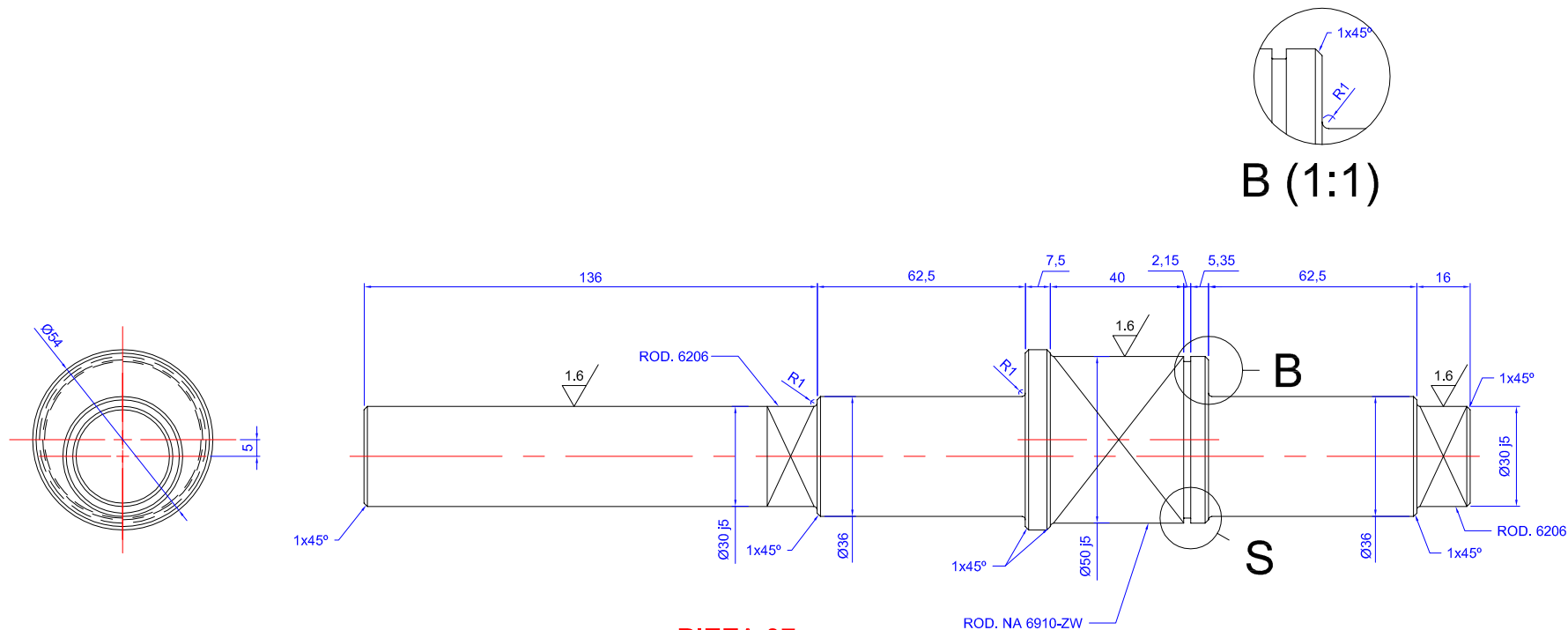
DATOS		C C-C (1.2)		
MATERIAL	DURALUMINIO			
CANTIDAD	1			
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Construyendo				
Dibujó				
Revisado				
Aprobado				
Medidas: mm	MOTOR DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE			FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESC 1:2				HOJA: 5



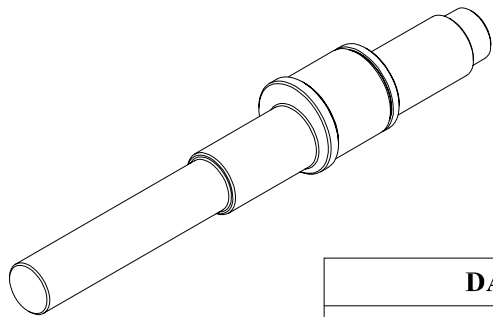
PIEZA 06
ESC. 1:1



			FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
		Construyendo				
		Dibujó				
		Revisado				
		Aprobado				
DATOS		Medidas: mm				FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
MATERIAL	DURALUMINIO	MOTOR DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE				
CANTIDAD	1					
		ESC 1:1				HOJA: 6

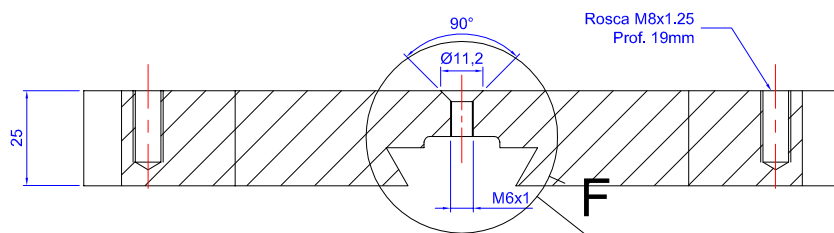
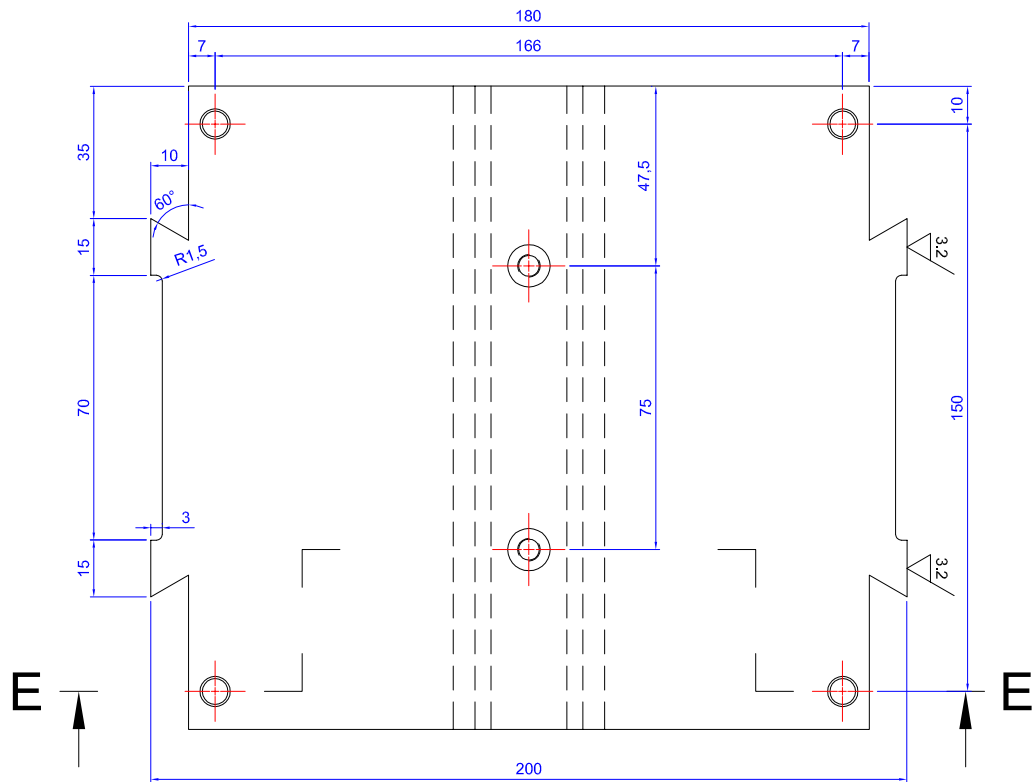


PIEZA 07
ESC. 1:2



DATOS	
MATERIAL	ACERO AISI 4340
CANTIDAD	1

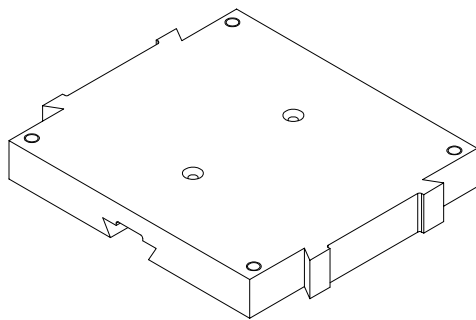
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Construyendo				
Dibujó				
Revisado				
Aprobado				
Medidas: mm	MOTOR DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE			FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESC 1:2				HOJA: 7



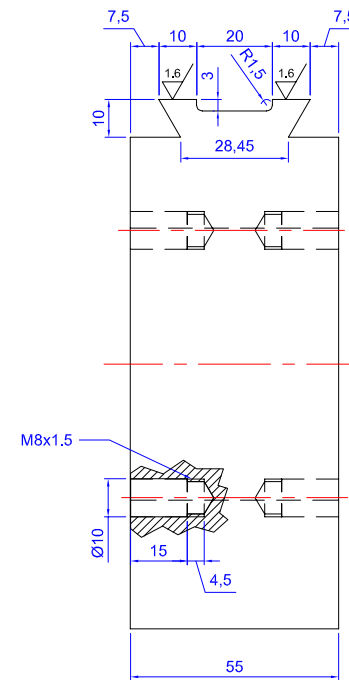
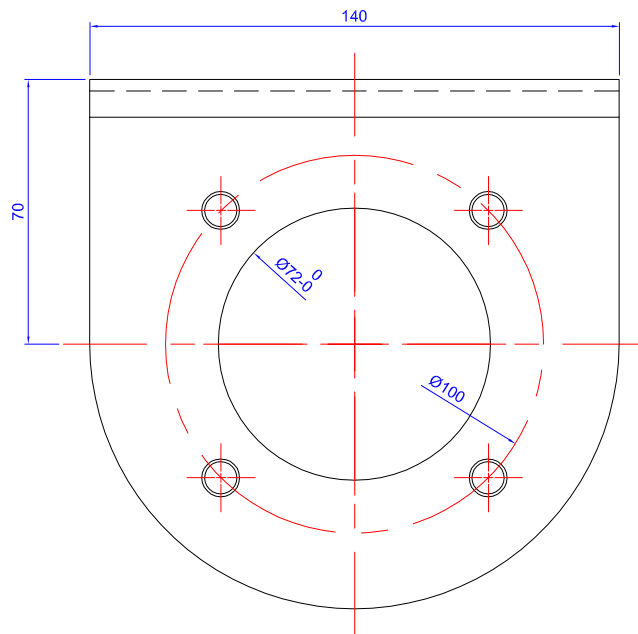
E-E (1:2)

PIEZA 08
ESC. 1:2

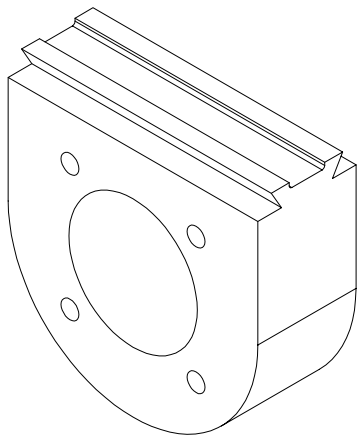
F (1:2)



DATOS				
MATERIAL	DURALUMINIO			
CANTIDAD	1			
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Construyendo				
Dibujó				
Revisado				
Aprobado				
Medidas: mm	MOTOR DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE			FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESC 1:2				HOJA: 8

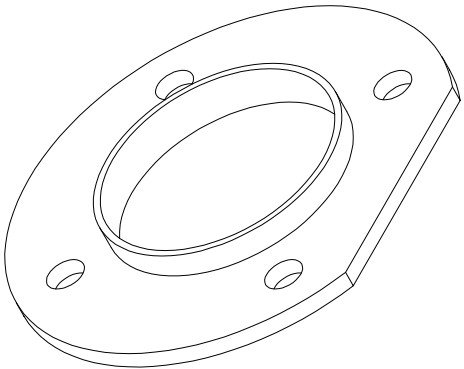
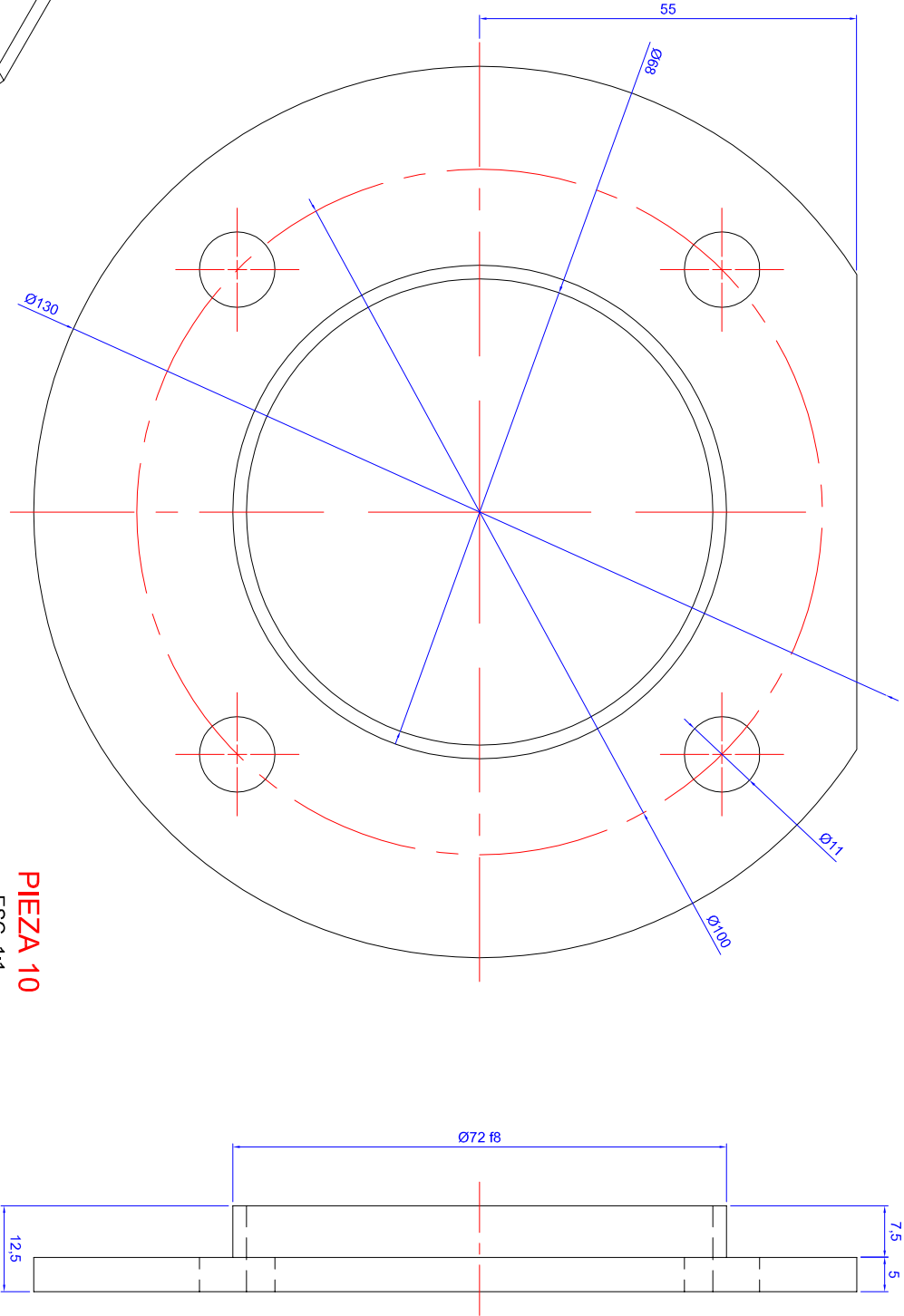


PIEZA 09
ESC. 1:2

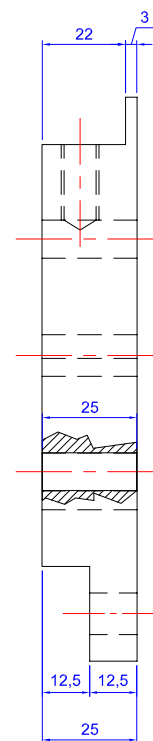
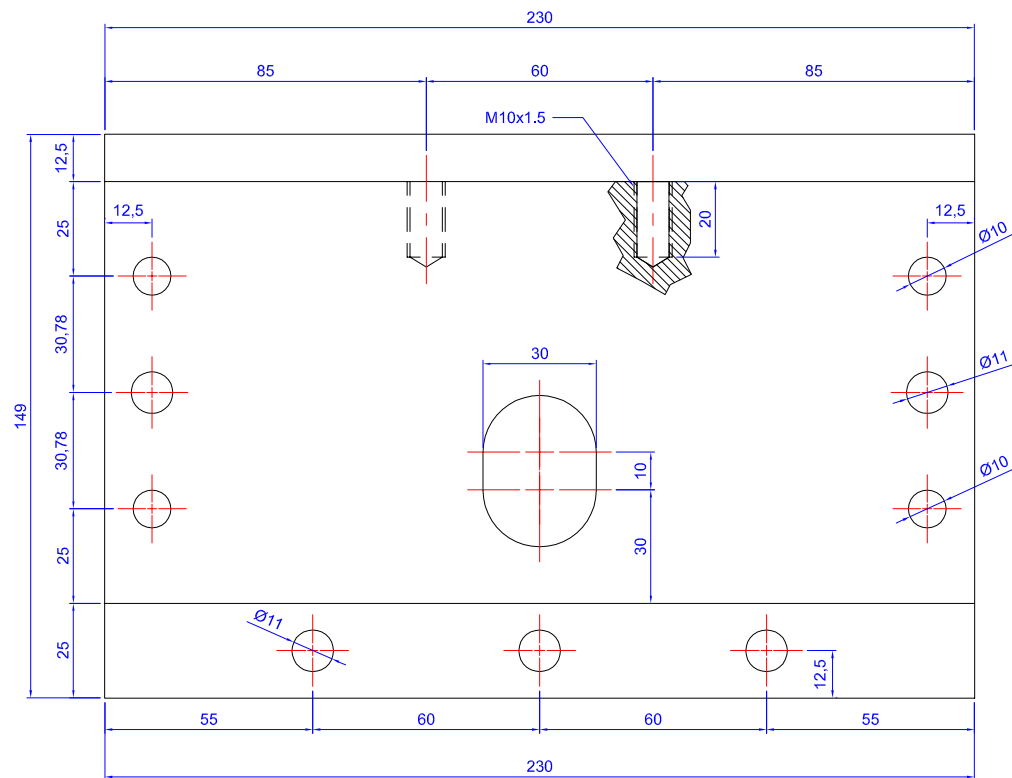


DATOS	
MATERIAL	DURALUMINIO
CANTIDAD	1

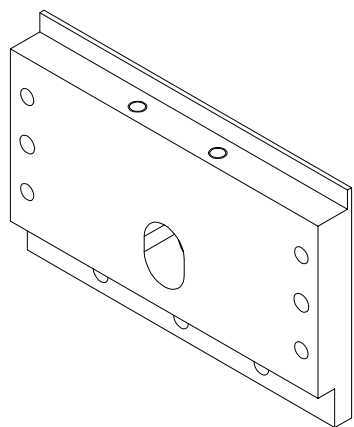
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Construyendo				
Dibujó				
Revisado				
Aprobado				FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
Medidas: mm	MOTOR DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE			HOJA: 9
ESC 1:2				



<div>DATOS</div>				FECHA		NOMBRE		FIRMA		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA	
		Construyendo									
		Dibujó									
		Revisado									
		Aprobado									
<div>DATOS</div>		Medidas: mm		MOTOR DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE							
		ESC 1:1									
MATERIAL		DURALUMINIO		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA							
CANTIDAD		1									
		ESC 1:1		HOJA: 10							

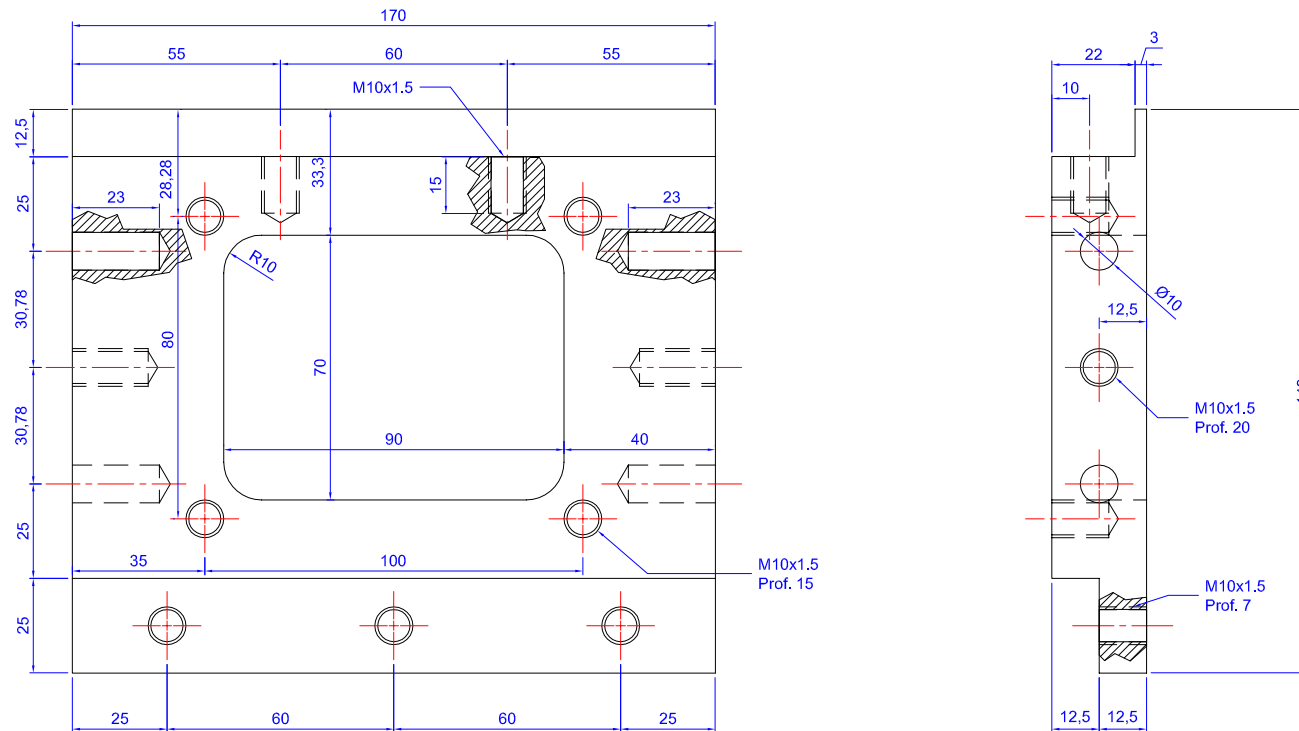


PIEZA 11
ESC. 1:2

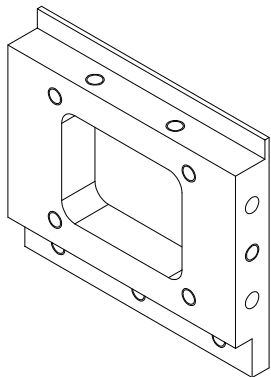


DATOS	
MATERIAL	DURALUMINIO
CANTIDAD	2

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Construyendo				
Dibujó				
Revisado				
Aprobado				
Medidas: mm	MOTOR DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE			FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESC 1:2				HOJA: 11

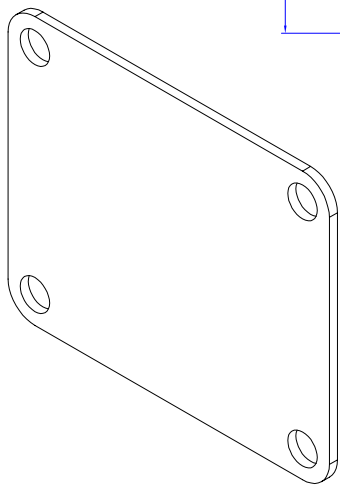
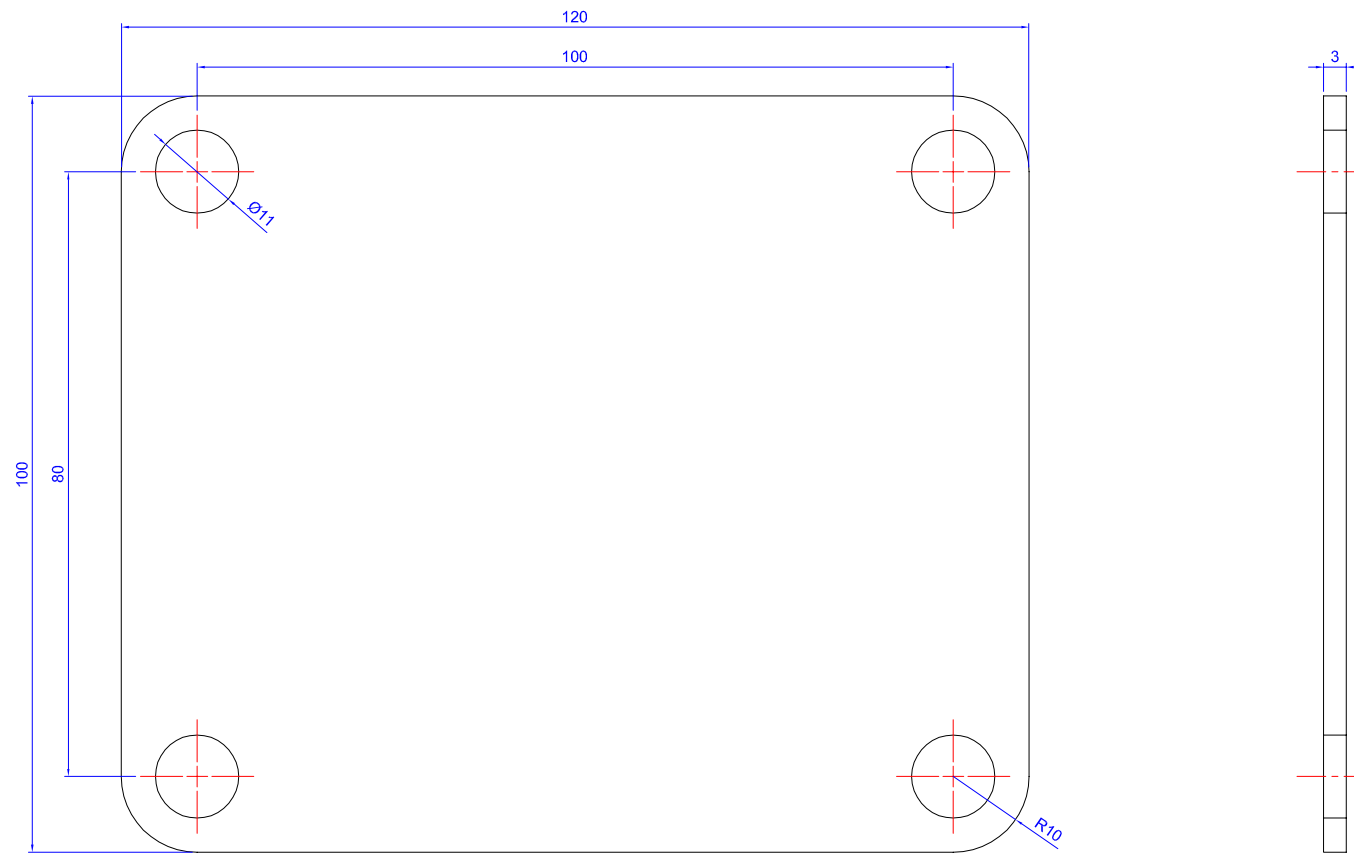


PIEZA 12
ESC. 1:2



DATOS	
MATERIAL	DURALUMINIO
CANTIDAD	2

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Construyendo				
Dibujó				
Revisado				
Aprobado				
Medidas: mm	MOTOR DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE			FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESC 1:2				HOJA: 12

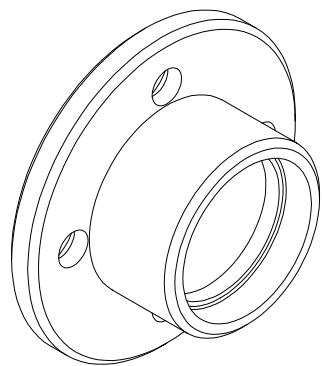
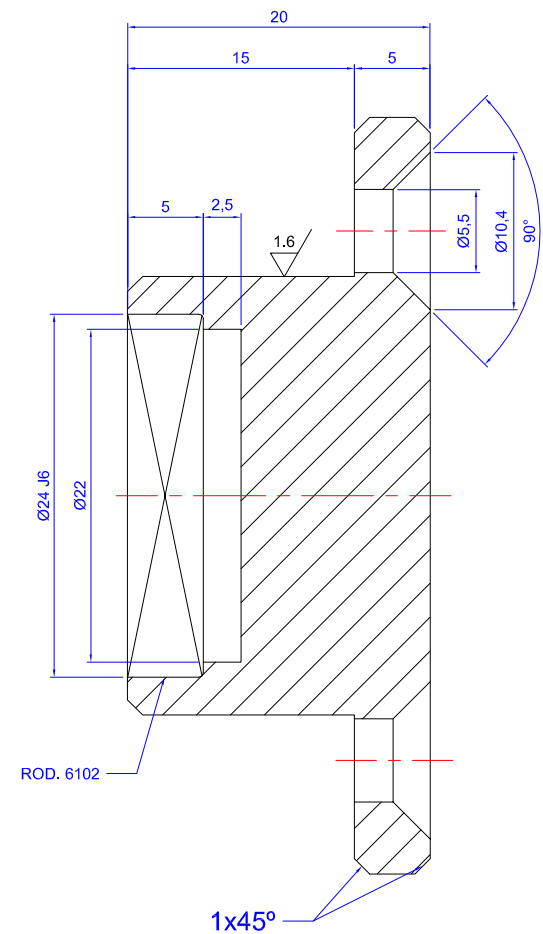
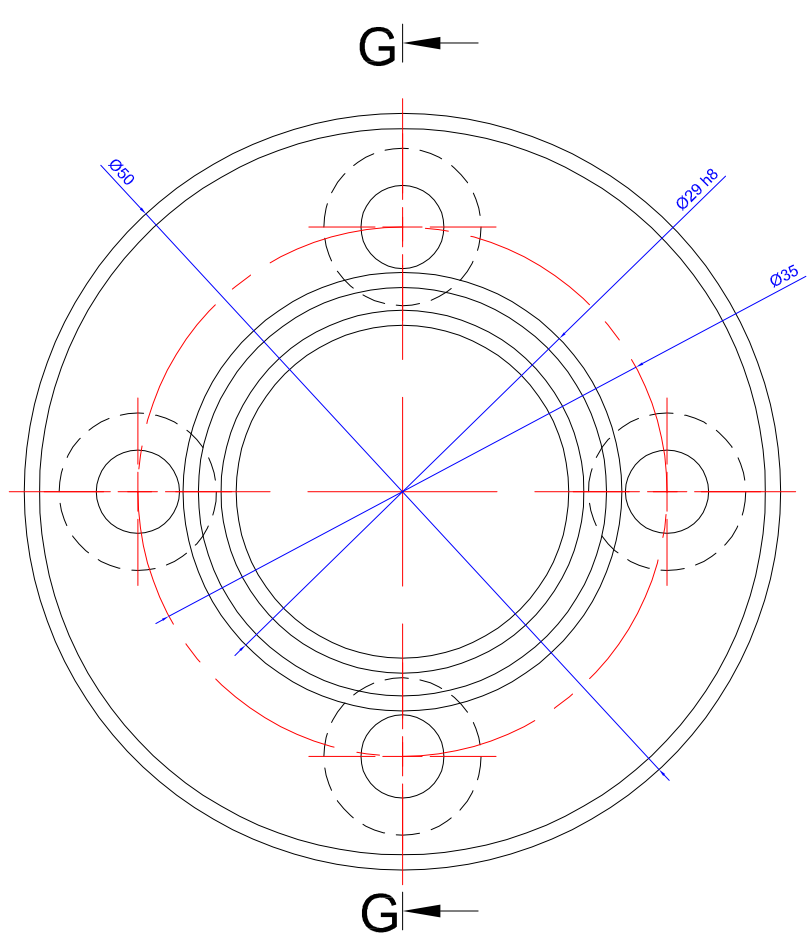


PIEZA 13

ESC. 1:1

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Construyendo				
Dibujó				
Revisado				
Aprobado				
Medidas: mm	MOTOR DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE			FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESC 1:1				HOJA: 13

DATOS	
MATERIAL	DURALUMINIO
CANTIDAD	2

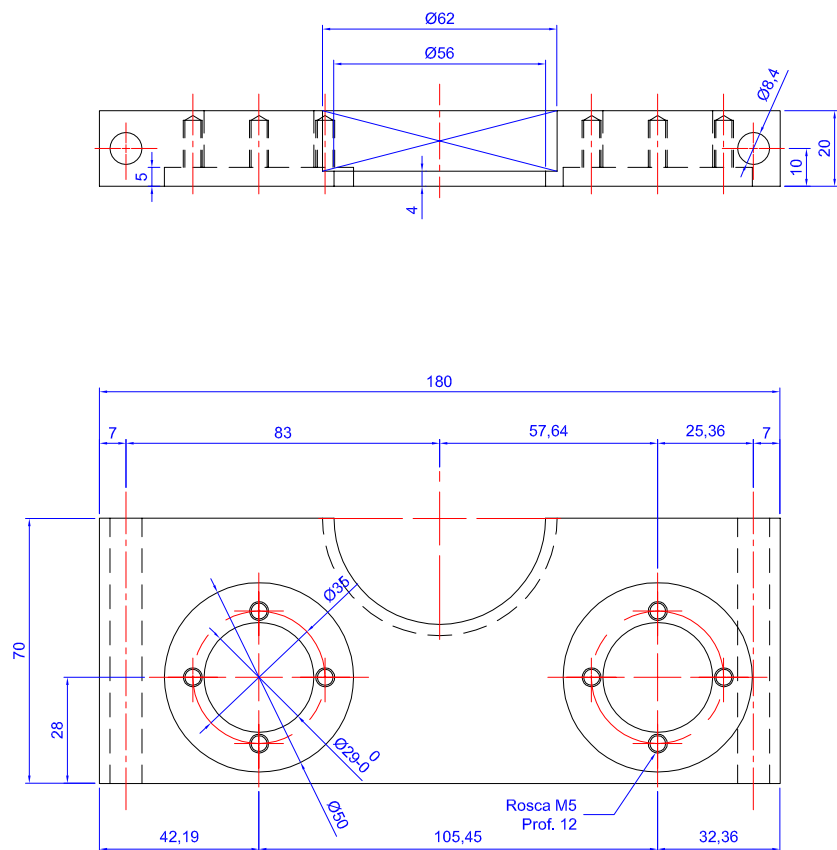


PIEZA 14
ESC. 2:1

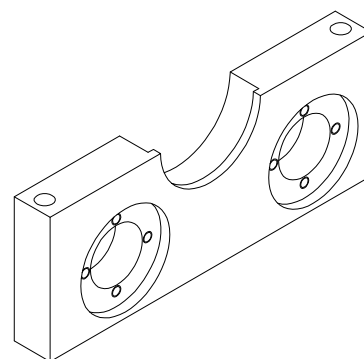
G-G (2:1)

DATOS	
MATERIAL	DURALUMINIO
CANTIDAD	4

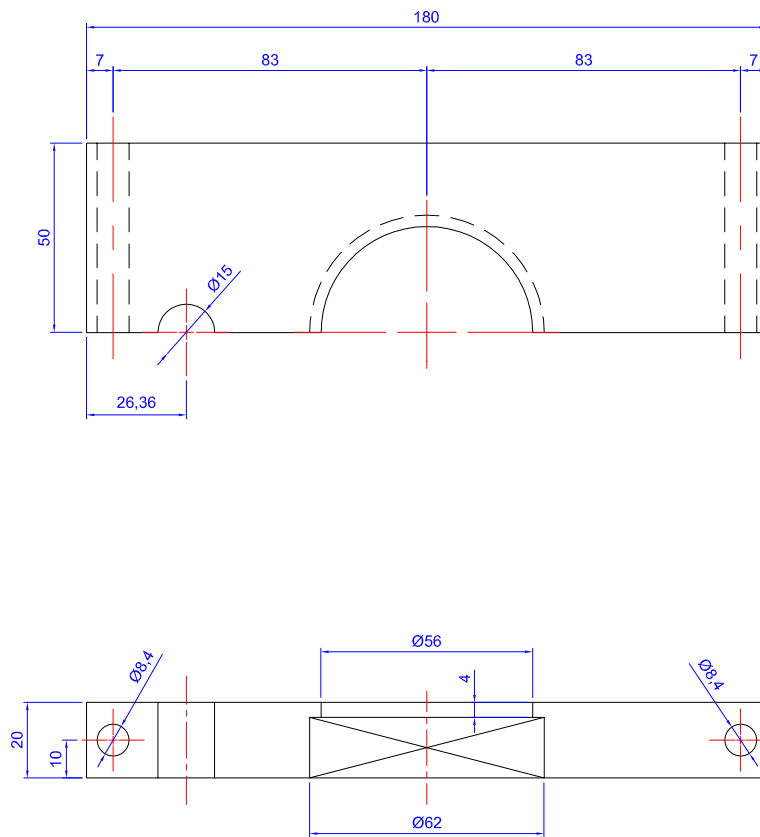
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Construyendo				
Dibujó				
Revisado				
Aprobado				
Medidas: mm	MOTOR DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE			FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESC 2:1				HOJA: 14



PIEZA 16
ESC. 1:2

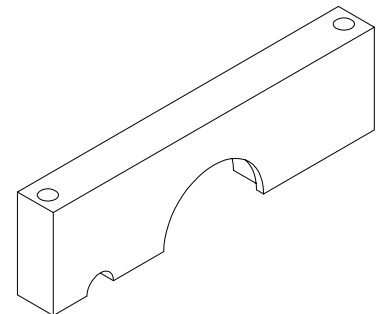


DATOS				
MATERIAL	DURALUMINIO			
CANTIDAD	1			
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Construyendo				
Dibujó				
Revisado				
Aprobado				
Medidas: mm	MOTOR DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE			FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESC 1:2				HOJA: 16

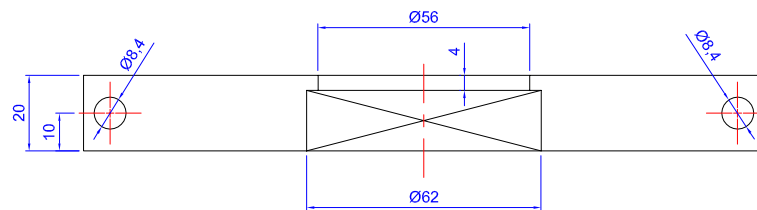
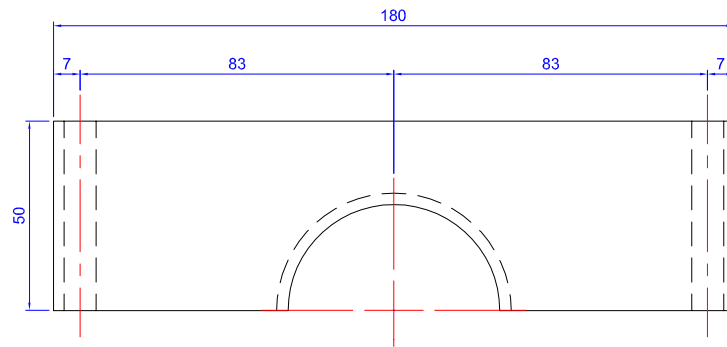


PIEZA 17

ESC. 1:2

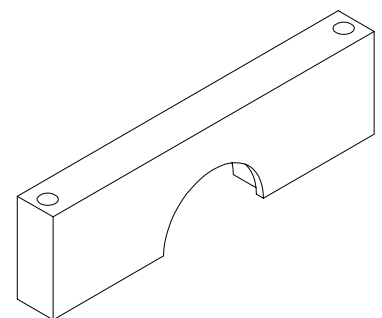


DATOS				
MATERIAL	DURALUMINIO			
CANTIDAD	1			
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Construyendo				
Dibujó				
Revisado				
Aprobado				
Medidas: mm	MOTOR DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE			FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESC 1:2				HOJA: 17

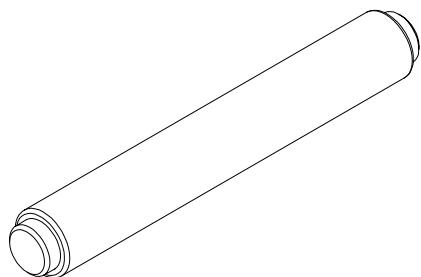
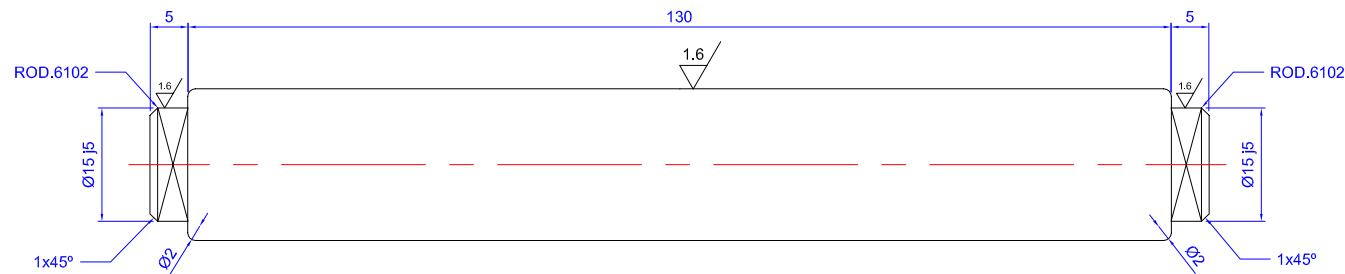
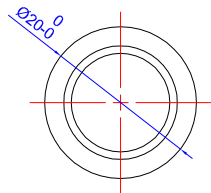


PIEZA 18

ESC. 1:2



DATOS				
MATERIAL	DURALUMINIO			
CANTIDAD	1			
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Construyendo				
Dibujó				
Revisado				
Aprobado				
Medidas: mm	MOTOR DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE			FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESC 1:2				HOJA: 18

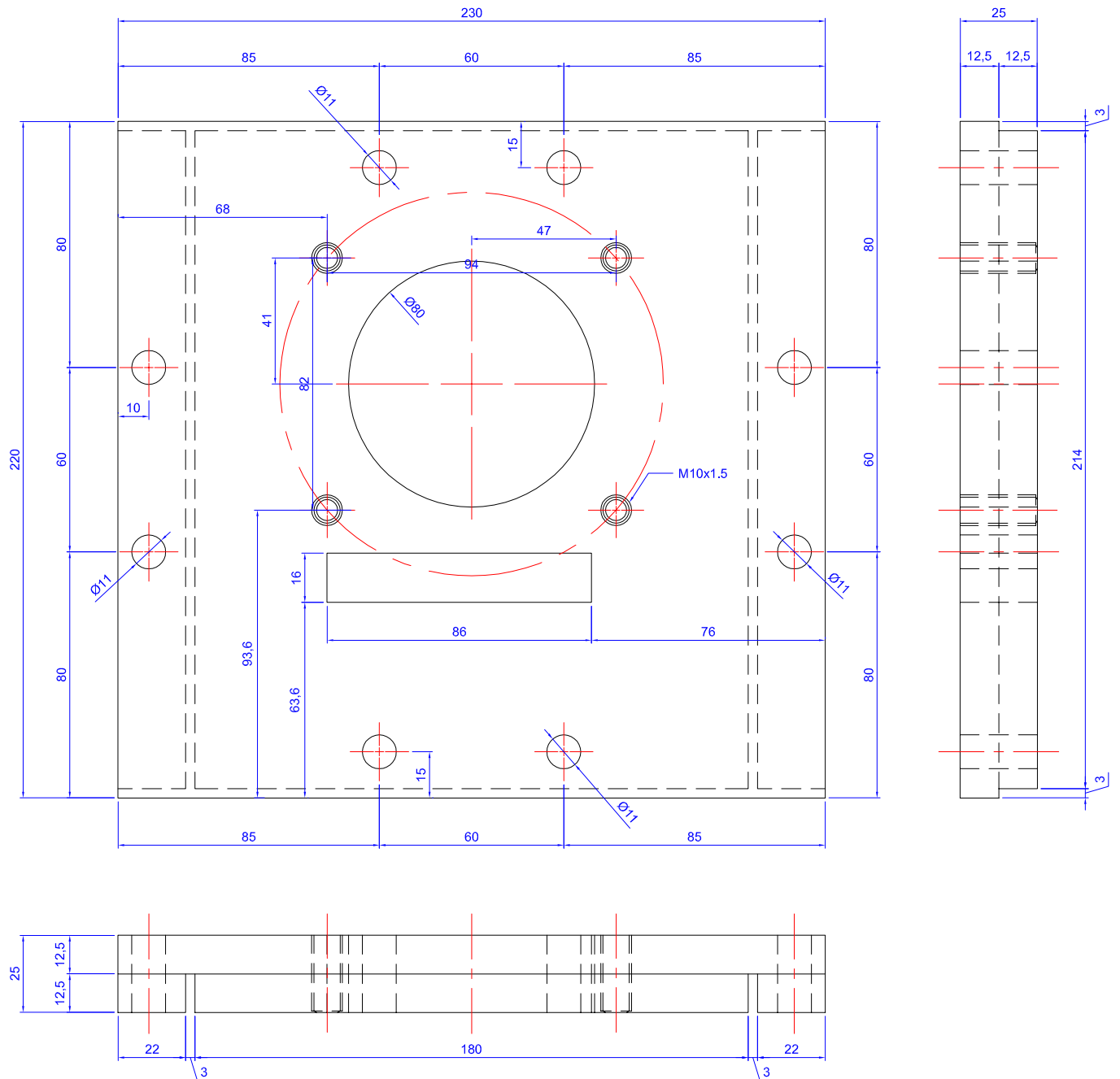


PIEZA 19

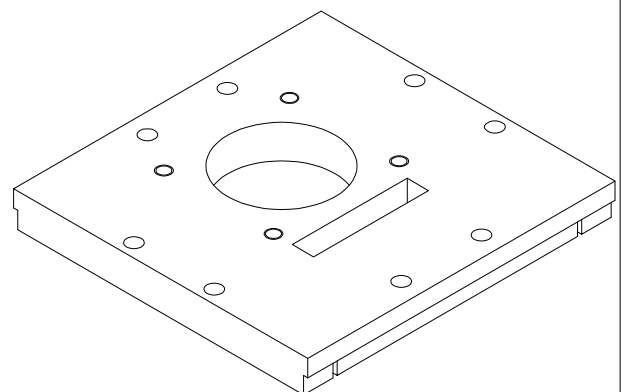
ESC. 1:1

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Construyendo				
Dibujó				
Revisado				
Aprobado				
Medidas: mm	MOTOR DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE			FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESC 1:1				HOJA: 19

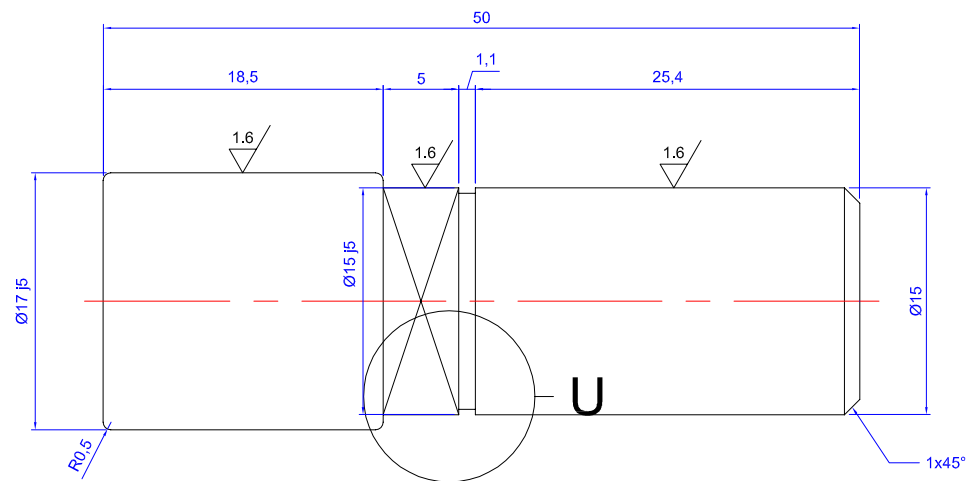
DATOS	
MATERIAL	ACERO AISI 1045
CANTIDAD	2



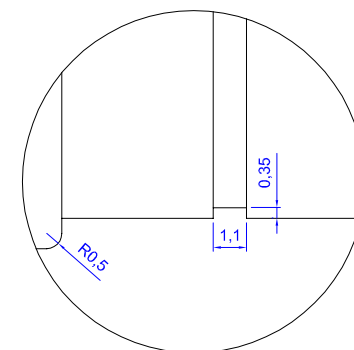
PIEZA 20
ESC. 1:2



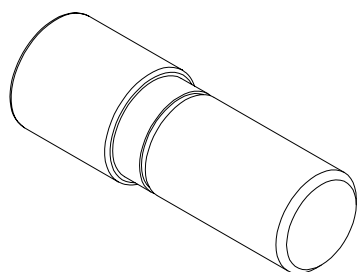
DATOS				
MATERIAL	DURALUMINIO			
CANTIDAD	1			
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Construyendo				
Dibujó				
Revisado				
Aprobado				
Medidas: mm	MOTOR DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE			FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESC 1:2				HOJA: 20



PIEZA 21
ESC. 2:1

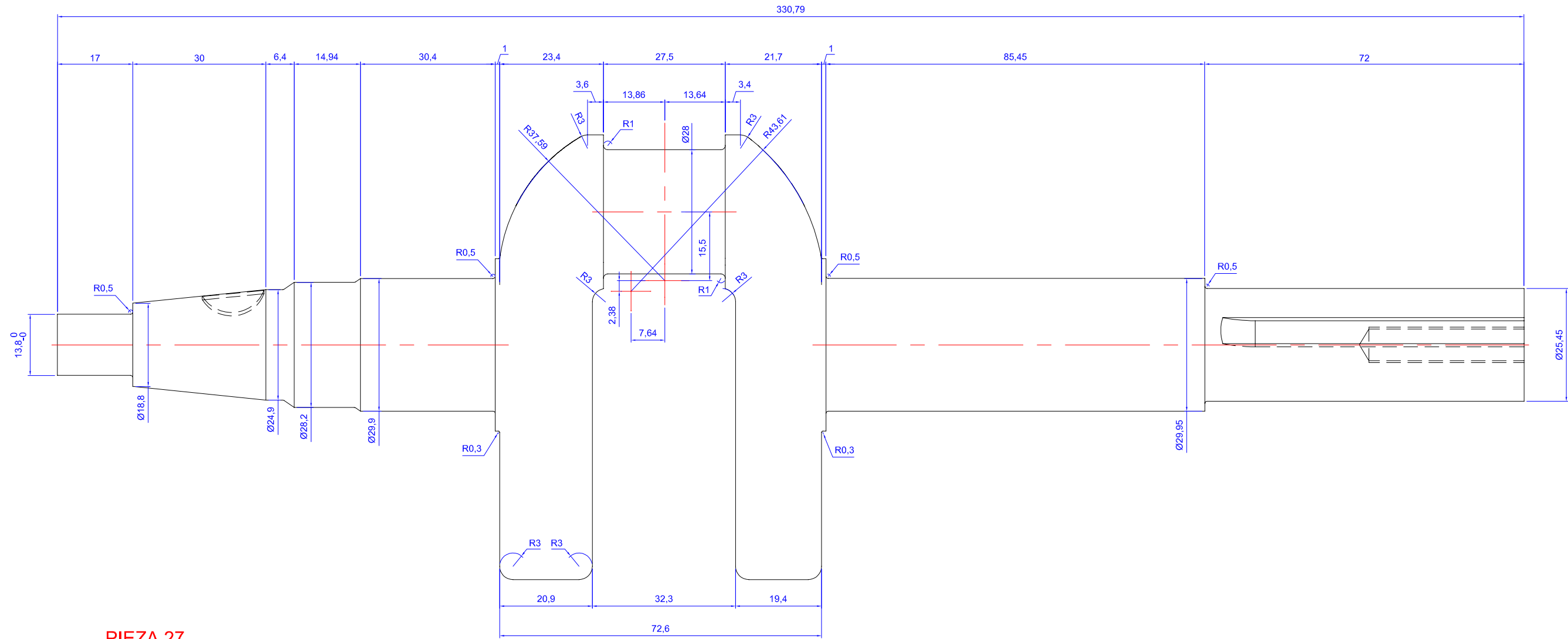
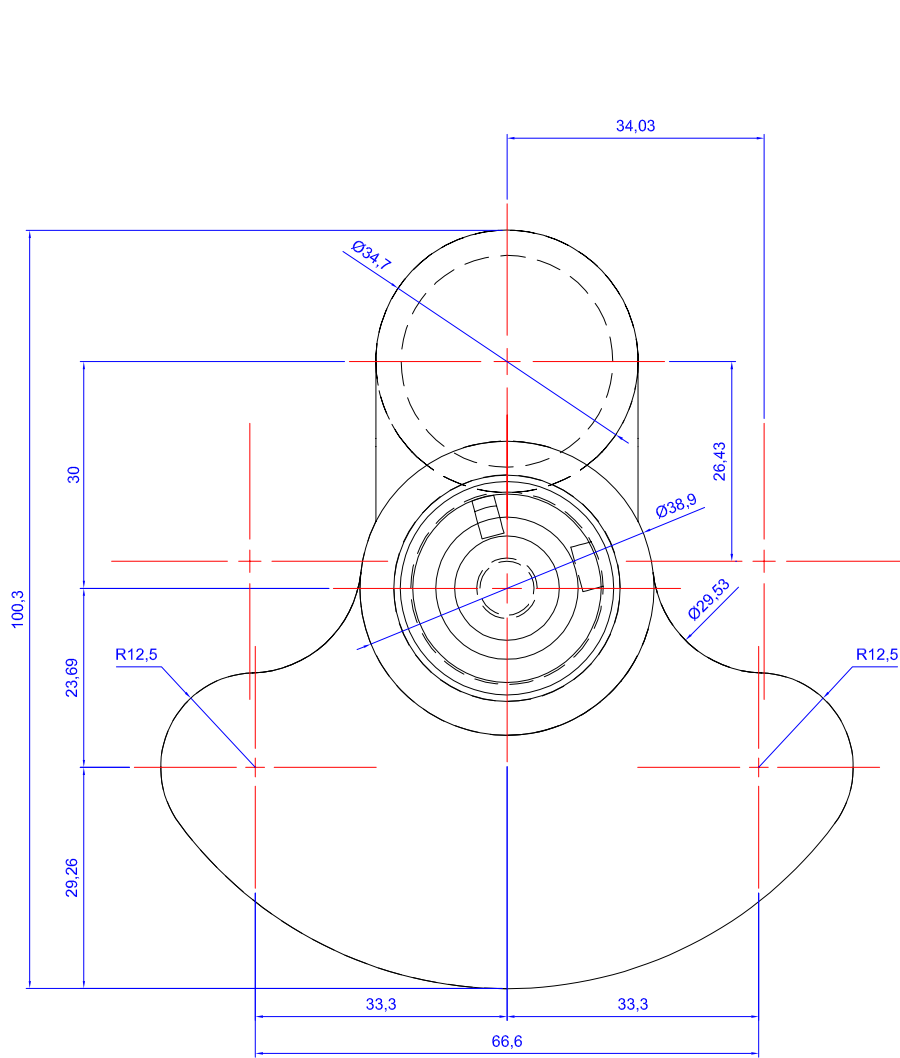


U (4:1)

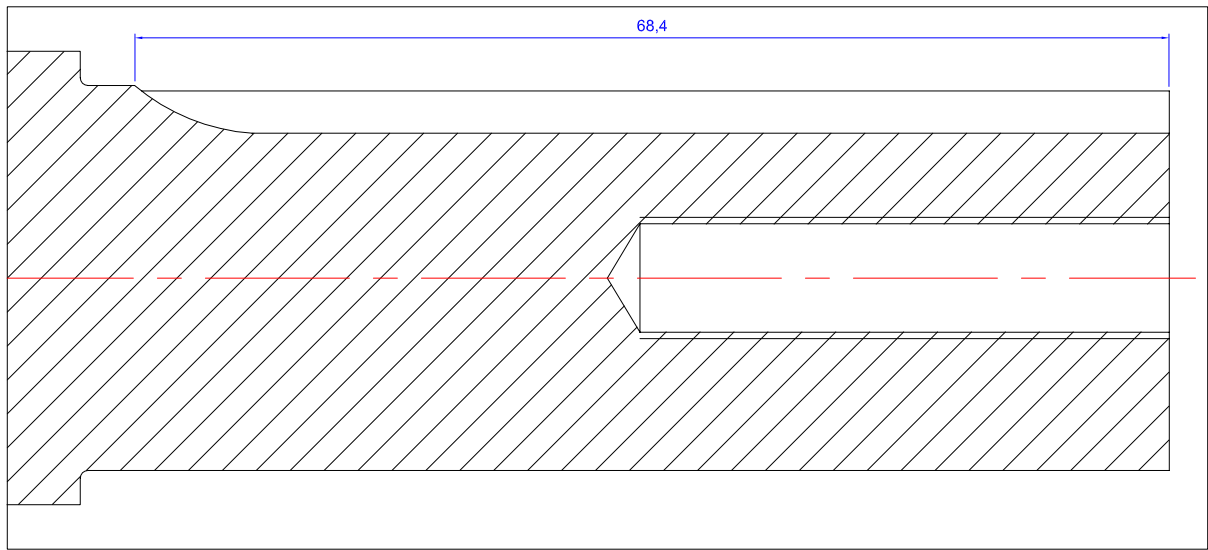


	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Construyendo				
Dibujó				
Revisado				
Aprobado				
Medidas: mm	MOTOR DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE			FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESC 2:1				HOJA: 21

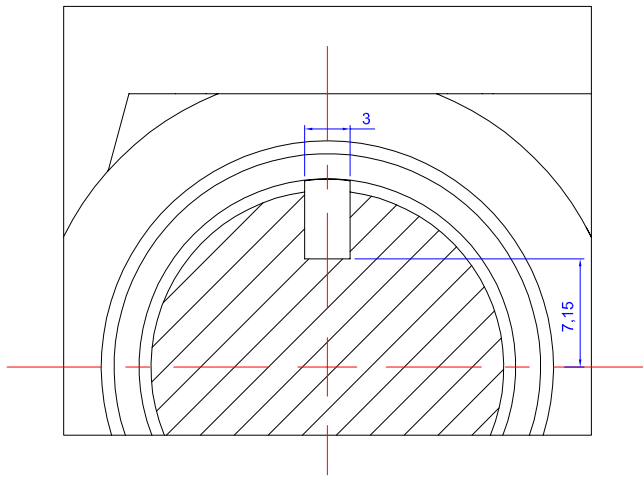
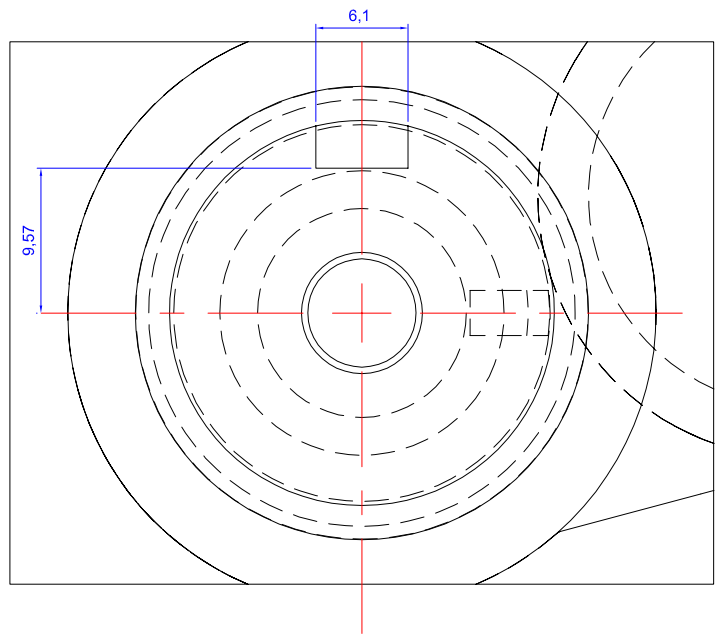
DATOS	
MATERIAL	ACERO AISI 1045
CANTIDAD	1



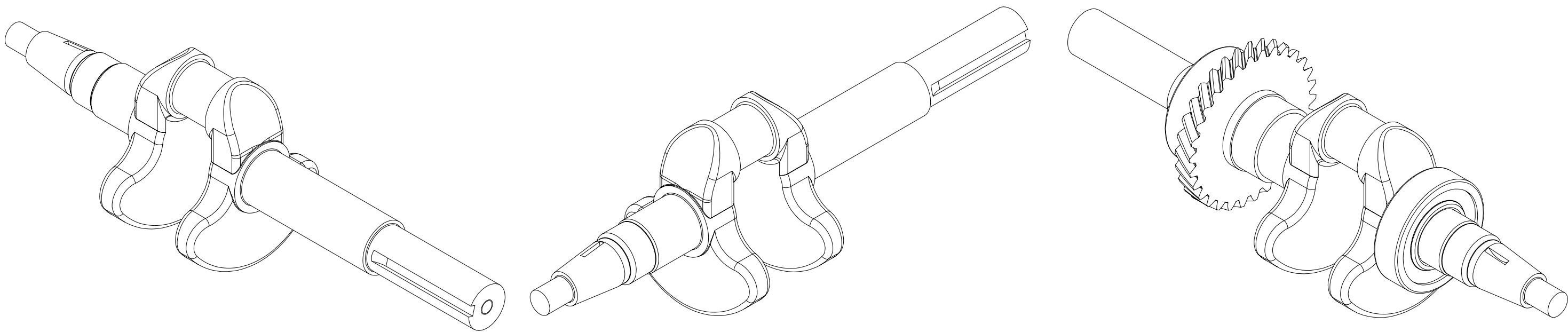
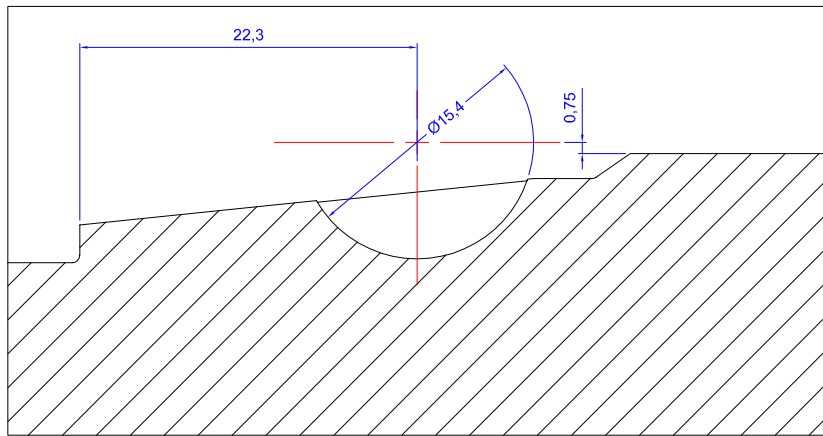
PIEZA 27
ESC. 1:1



DETALLE CHAVETA
ESC. 2:1

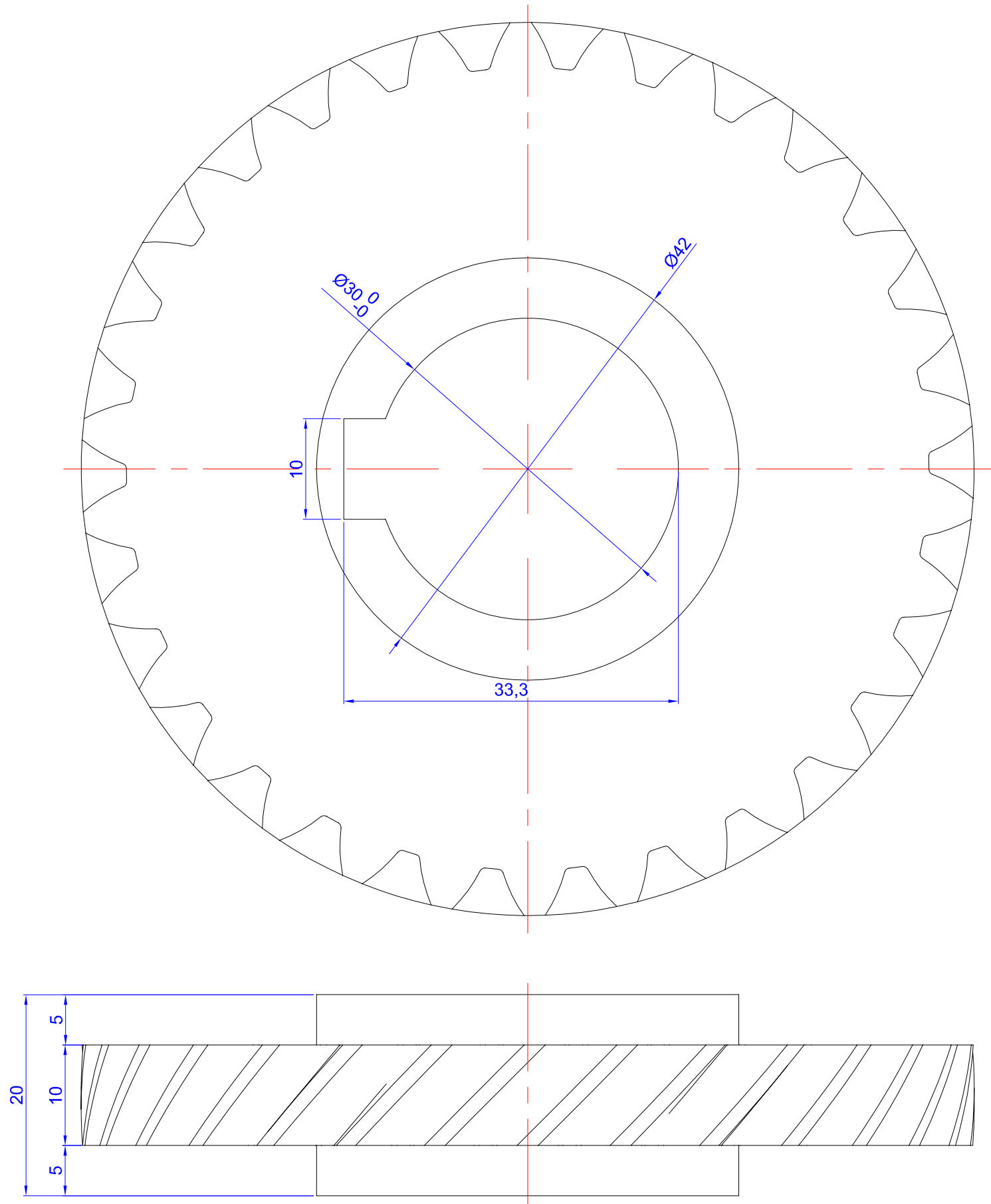


DETALLE CHAVETA
ESC. 2:1



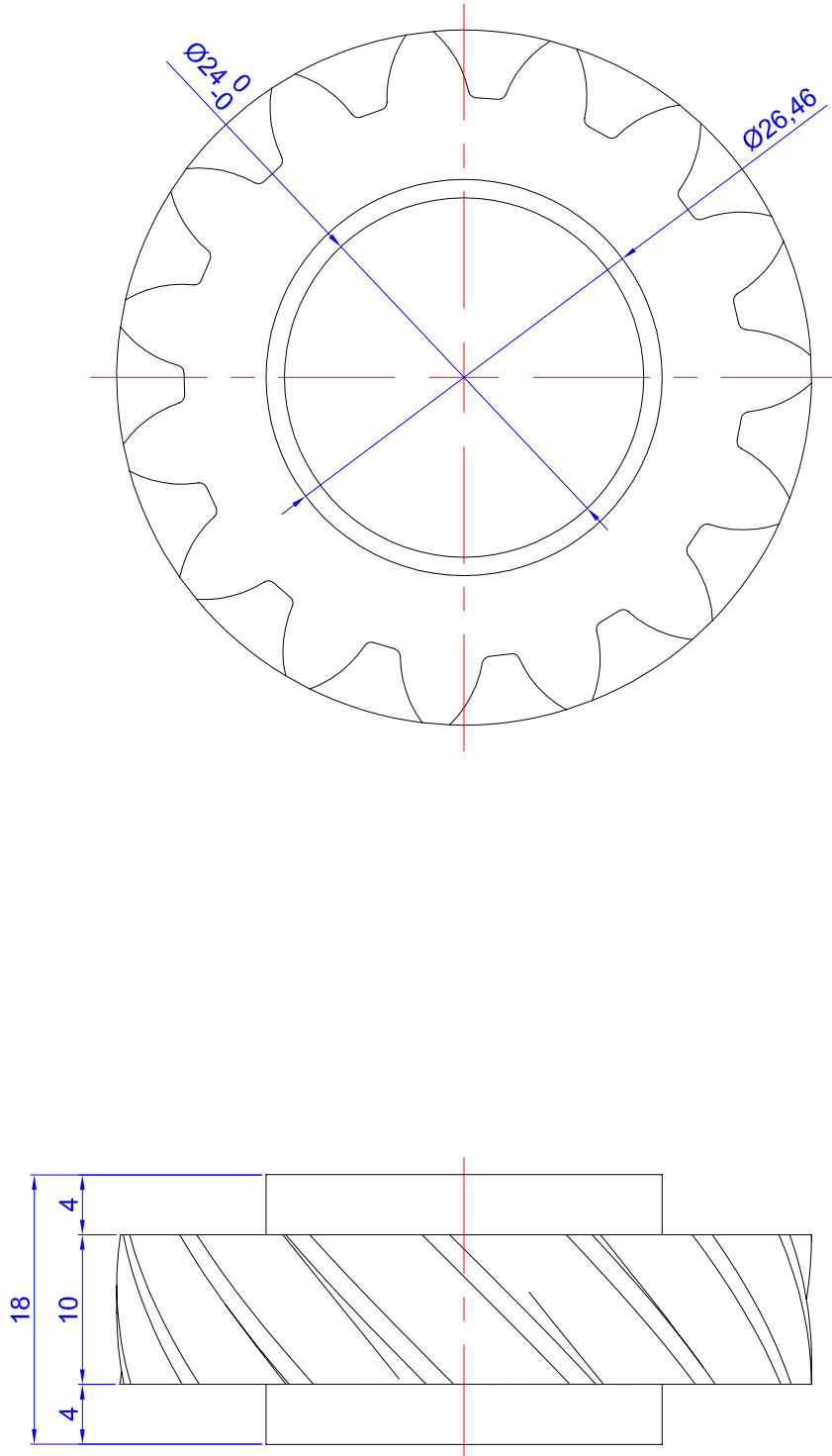
MATERIAL:
CANTIDAD: 1

Construyendo	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Dibujó				
Revisado				
Aprobado				
Medidas: mm	MOTOR DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE			FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESC 1:1				HOJA: 27



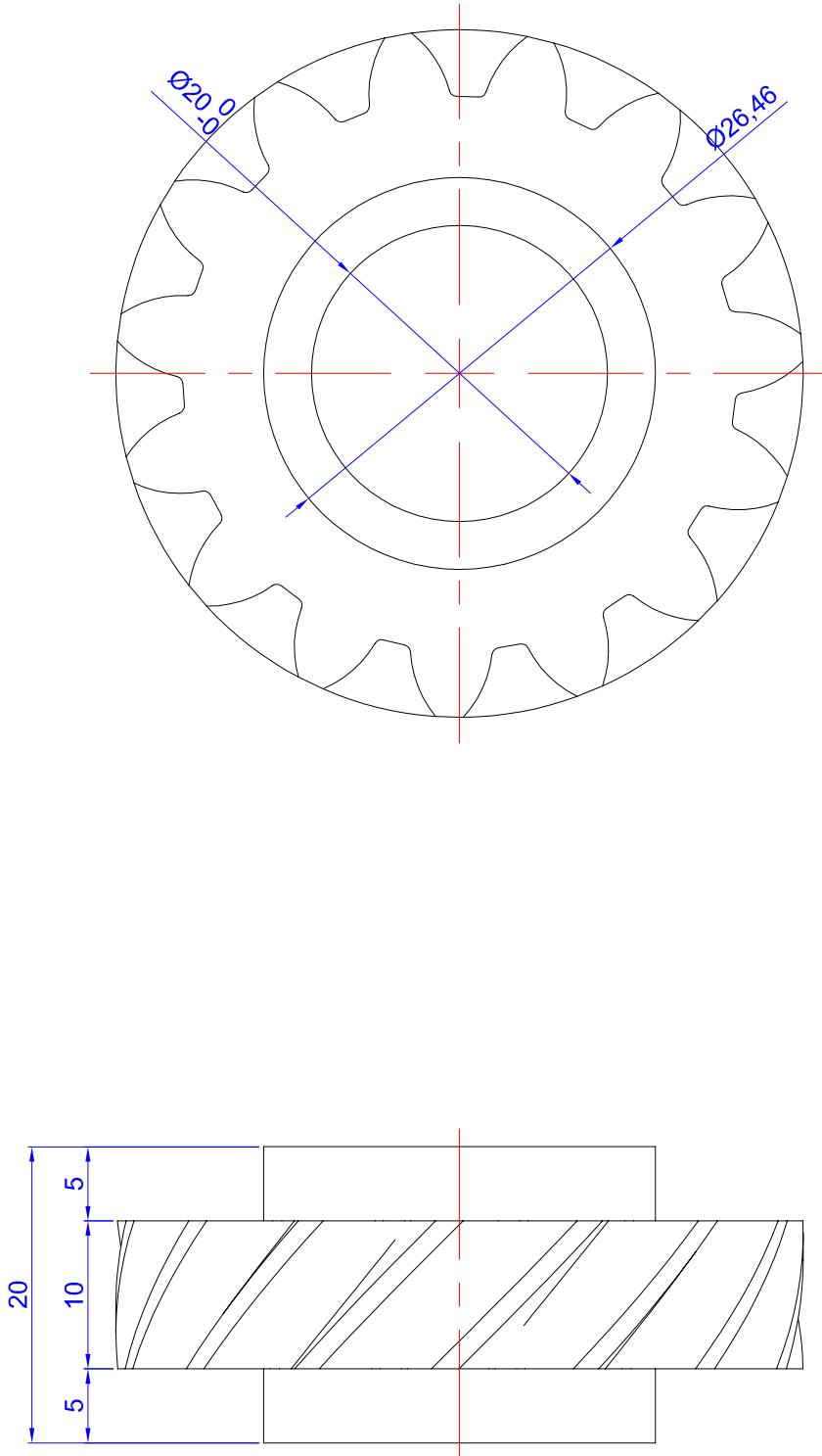
RUEDA GRANDE
ESC. 2:1

DATOS RUEDA GRANDE	
Ø EXTERIOR	88.85mm
Ø INTERIOR	79.85mm
NÚMERO DE DIENTES	30
INCLINACIÓN DIENTE	DERECHA
MÓDULO	2.1
ALTURA DEL DIENTE	4.5mm
MATERIAL	ACERO AISI 4340
CANTIDAD	1



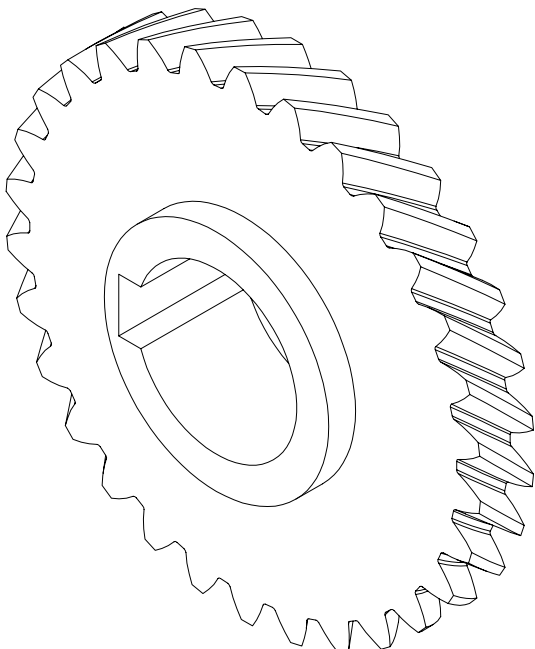
RUEDA PEQUEÑA 1
ESC. 2:1

DATOS RUEDA PEQUEÑA 1	
Ø EXTERIOR	46.42mm
Ø INTERIOR	37.42mm
NÚMERO DE DIENTES	15
INCLINACIÓN DIENTE	IZQUIERDA
MÓDULO	2.1
ALTURA DEL DIENTE	4.5mm
MATERIAL	ACERO AISI 4340
CANTIDAD	2

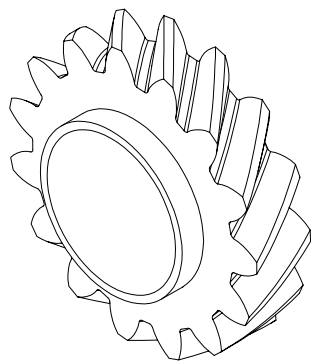


RUEDA PEQUEÑA 2
ESC. 2:1

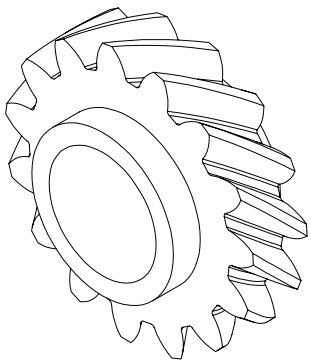
DATOS RUEDA PEQUEÑA 2	
Ø EXTERIOR	46.42mm
Ø INTERIOR	37.42mm
NÚMERO DE DIENTES	15
INCLINACIÓN DIENTE	DERECHA
MÓDULO	2.1
ALTURA DEL DIENTE	4.5mm
MATERIAL	ACERO AISI 4340
CANTIDAD	1



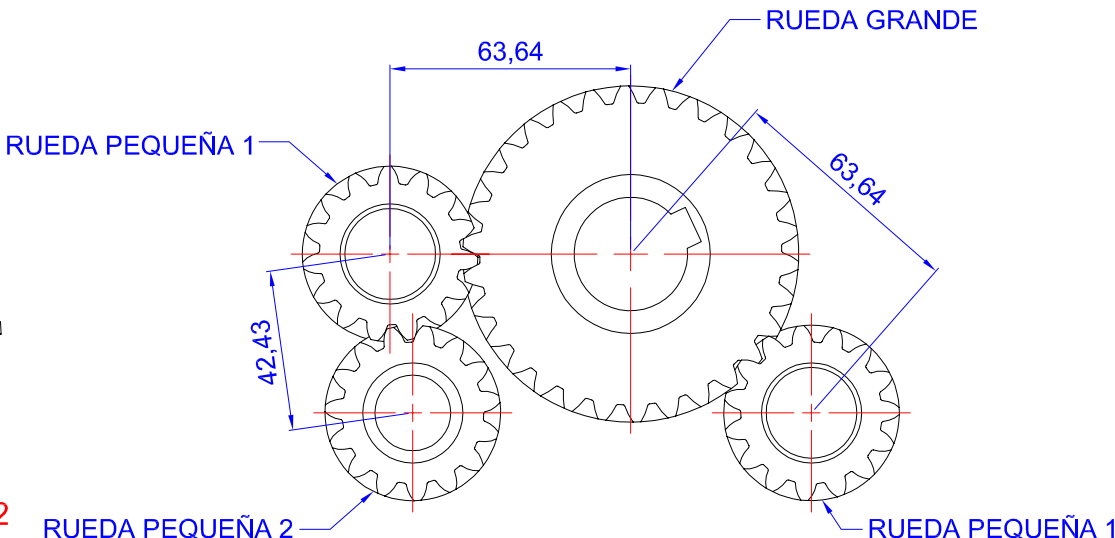
RUEDA GRANDE



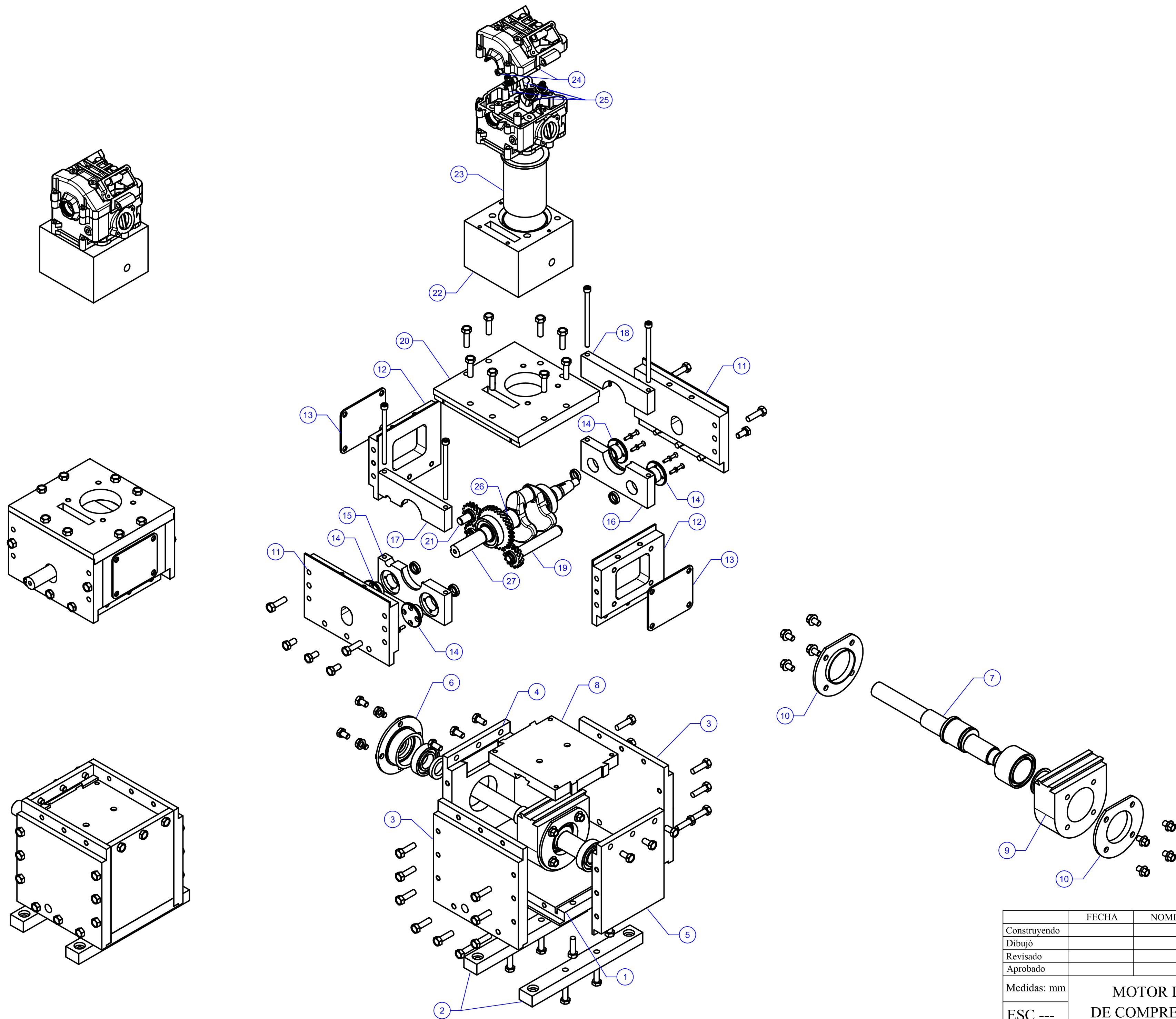
RUEDA PEQUEÑA 1



RUEDA PEQUEÑA 2



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Construyendo				
Dibujó				
Revisado				
Aprobado				
Medidas: mm	MOTOR DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE			FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESC 2:1				HOJA: 29



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Construyendo				
Dibujó				
Revisado				
Aprobado				FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
Medidas: mm	MOTOR DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE			HOJA: 30
ESC ---				

Pieza: Base cárter		Máquina usada	Herramienta	Datos de corte			
N°	Operación			n (rpm)	V (m/min)	S (mm/min)	t (min)
1	Escuadrado de escala para placa frontal y posterior de 12,5 mm de ancho por 20 mm de profundidad a lo largo de 230 mm de la placa base, esta operación se repite al lado posterior para placa	Fresadora vertical	Fresa de escuadrar en punta cuadrada Ø 16 mm de doble hélice	10000,00	502	2300	0,6
2	Ranurado recto de 5 mm de ancho por 12,5 mm de profundidad, iniciando a 20 mm de la cara lateral de la placa base, esta operación se realiza a ambos lados de la base	Fresadora vertical	Fresa de escuadrar de punta cuadrada Ø 5 mm de doble hélice	20000,00	314	1800	0,94
3	Abocardado de 20,6 mm de diámetro y 7,5 mm de profundidad	Fresadora vertical	Fresa de punta cuadrado Ø20 mm de doble hélice	8000,00	502	0,275	0,013
4	Taladrado y escariado de agujero de 7 mm de diámetro pasante	Fresadora vertical	Broca helicoidal Ø7 mm	2274,00	50	0,16	0,077
5	Taladrado y roscado de agujero de M10 x 1,5 por 28 mm de profundidad	Fresadora vertical	Broca-machuelo M10X1,5 mm	10093,00	260	0,104	0,16
6	Taladrado y roscado de agujero de M10 x 1,5 por 20 mm de profundidad	Fresadora vertical	Broca-machuelo M10X1,5 mm	10093,00	260	0,104	0,076
7	Fresado frontal de agujeros para drenaje de lubricación de 25 mm de diámetro por 30 mm de profundidad	Fresadora vertical	Fresa de punta cuadrado Ø25 mm de doble hélice	6000,00	471	3000	0,005

Pieza: Apoyo base		Máquina usada	Herramienta	Datos de corte			
N°	Operación			n (rpm)	V (m/min)	S (mm/min)	t (min)
1	Abocardado de 21,5 mm de diámetro y 6,4 mm de profundidad	Fresadora vertical	Fresa de punta cuadrado Ø20 mm de doble hélice	8000,00	502	0,275	0,012

Pieza: Apoyo base		Máquina usada	Herramienta	Datos de corte			
N°	Operación			n (rpm)	V (m/min)	S (mm/min)	t (min)
2	Taladrado y escariado de agujero de 11 mm de diámetro pasante	Fresadora vertical	Broca helicoidal Ø11 mm	1592,00	50	0,2	0,23

Pieza: Frontal Inferior cárter		Máquina usada	Herramienta	Datos de corte			
N°	Operación			n (rpm)	V (m/min)	S (mm/min)	t (min)
1	Escuadrado de guías inferiores de unión con placa base de 12,5 mm por 5 mm, a lo largo de 230 mm de la placa	Fresadora vertical	Fresa de escuadrar de punta cuadrada Ø 10 mm de doble hélice	15000,00	471	2300	0,4
2	Escuadrado de guías superiores de 25 mm por 12,5 mm, a lo largo de 230 mm de la placa	Fresadora vertical	Fresa de escuadrar de punta cuadrada Ø 25 mm de doble hélice	6000,00	471	3000	0,15
3	Taladrado y escariado de agujero de 10 mm de diámetro pasante	Fresadora vertical	Broca helicoidal Ø10 mm	1592,00	50	0,2	1,41
4	Taladrado y roscado de agujero de M10 x 1,5 mm, pasantes para ajuste de placa superior	Fresadora vertical	Broca-machuelo M10X1,5 mm	10093,00	260	0,104	0,07
5	Taladrado y escariado de agujero de 17,5 mm de diámetro pasante, para lubricación de cárter	Fresadora vertical	Broca helicoidal Ø18 mm	884,00	50	0,28	0,2

Pieza: Lateral cárter		Máquina usada	Herramienta	Datos de corte			
N°	Operación			n (rpm)	V (m/min)	S (mm/min)	t (min)
1	Escuadrado de guía inferior para placa base de 20 mm por 12,5 mm de profundidad	Fresadora vertical	Fresa de escuadrar de punta cuadrada Ø 25 mm de doble hélice	6000,00	471	3000	0,06
2	Escuadrado de guía superior para placa lateral superior de 25 mm por 12,5 mm de profundidad	Fresadora vertical	Fresa de escuadrar de punta cuadrada Ø 25 mm de doble hélice	6000,00	471	3000	0,06
3	Taladrado y roscado de agujero M10x1,5 mm, por 23 mm de profundidad, para ajuste de placas frontal y posterior	Fresadora vertical	Broca-machuelo M10X1,5 mm	10093,00	260	0,104	0,175
4	Taladrado y escariado de agujero de 10 mm de diámetro pasante	Fresadora vertical	Broca helicoidal Ø10 mm	1592,00	50	0,2	0,04
5	Taladrado y roscado de agujero M10x1,5 mm por 19,5 mm de profundidad	Fresadora vertical	Broca-machuelo M10X1,5 mm	10093,00	260	0,104	0,074
6	Fresado frontal de desgaste de agujero de 70 mm por 25 mm de profundidad	Fresadora vertical	Fresa de punta cuadrada Ø25 mm de doble hélice	6000,00	471	3600	0,053
7	Fresado frontal de acabado de agujero de 73,95 mm por 25 mm de profundidad	Fresadora vertical	Fresa de punta cuadrada Ø25 mm de 4 hélices	6000,00	471	4800	0,037
8	Rectificado cilíndrico interior de agujero de $74_0^{0,019}$ mm por 25 mm de profundidad	Fresadora vertical	Soporte y piedra de rectificado Ø20 x 20 x 10 mm, grano 220	19098	1200	5	
9	Fresado frontal de agujero de 80 mm de diámetro por 3 mm de profundidad	Fresadora vertical	Fresa de punta cuadrada Ø25 mm de doble hélice	6000,00	471	3600	0,041

Pieza: Lateral cárter		Máquina usada	Herramienta	Datos de corte			
N°	Operación			n (rpm)	V (m/min)	S (mm/min)	t (min)
10	Ranurado basto de guías placa móvil de un espesor de 10 mm y 88,45 mm x 35 mm	Fresadora vertical	Fresa de punta cuadrada Ø10 mm de doble hélice	8000,00	502	2200	0,1
11	Ranurado de forma de cola de milano para placa móvil de 10 mm x 100 mm a 60° (cola de milano)	Fresadora vertical	Fresa de cola de milano a 60° de 4 dientes	795,78	50	1,2	
12	Acabado de cola de milano de 60°	Fresadora vertical	Fresa de cola de milano a 60° de 4 dientes	954,93	60	0,4	

Pieza: Posterior cárter		Máquina usada	Herramienta	Datos de corte			
N°	Operación			n (rpm)	V (m/min)	S (mm/min)	t (min)
1	Escuadrado de guía inferior para placa base de 20 mm por 12,5 mm de profundidad	Fresadora horizontal	Fresa de escuadrar de punta cuadrada Ø 25 mm de doble hélice	6000,00	471	3000	0,06
2	Escuadrado de guía superior para placa lateral superior de 25 mm por 12,5 mm de profundidad	Fresadora horizontal	Fresa de escuadrar de punta cuadrada Ø 25 mm de doble hélice	6000,00	471	3000	0,06
3	Taladrado y roscado de agujero M10x1,5 mm, por 23 mm de profundidad, para ajuste de placas frontal y posterior	Fresadora vertical	Broca-machuelo M10X1,5 mm	10093,00	260	0,104	0,175

Pieza: Posterior cárter		Máquina usada	Herramienta	Datos de corte			
N°	Operación			n (rpm)	V (m/min)	S (mm/min)	t (min)
4	Taladrado y escariado de agujero de 10 mm de diámetro pasante	Fresadora vertical	Broca helicoidal Ø10 mm	1592,00	50	0,2	0,04
5	Cilindrado de agujero de 61,5 mm por 16 mm de profundidad	Fresadora vertical	Fresa de punta cuadrada Ø25 mm de doble hélice	6000,00	471	3600	0,053
6	Cilindrado de agujero de Ø61,95 mm por 16 mm de profundidad	Fresadora vertical	Fresa de punta cuadrada Ø25 mm de 4 hélices	6000,00	471	4800	0,037
7	Ratificado cilíndrico interior de agujero de $62_0^{0,019}$ mm por 16 mm de profundidad	Fresadora vertical	Soporte y piedra de rectificado Ø20 x 20 x 10 mm, grano 220	19098	1200	5	
8	Cilindrado de agujero de 56 mm por 1 mm de profundidad	Fresadora vertical	Fresa de punta cuadrada Ø25 mm de doble hélice	6000,00	471	3600	0,041
9	Ranurado basto de guías placa móvil de un espesor de 10 mm y 88,45 mm x 35 mm	Fresadora vertical	Fresa de punta cuadrada Ø10 mm de doble hélice	8000,00	502	2200	0,1
10	Ranurado de forma de cola de milano para placa móvil de 10 mm x 100 mm a 60° (cola de milano)	Fresadora vertical	Fresa de cola de milano a 60° de 4 dientes	795,78	50	1,2	
11	Acabado de cola de milano de 60°	Fresadora vertical	Fresa de cola de milano a 60° de 4 dientes	954,93	60	0,4	

Pieza: Tapa Variador		Máquina usada	Herramienta	Datos de corte			
N°	Operación			n (rpm)	V (m/min)	S (mm/min)	t (min)
1	Planeado periférico de $\varnothing 25$ mm por 30 mm de profundidad	Fresadora vertical	Fresa de punta cuadrada $\varnothing 25$ mm de doble hélice	6000,00	471	3600	0,008
2	Cilindrado de material a $\varnothing 80$ mm y 25 de longitud medido desde una cara externa del material	Torno Paralelo	Porta herramienta con plaquita rómbica C80	1500,00	377	300	0,33
3	Cilindrado de escala a $\varnothing 74_{-0,013}^0$ mm de diámetro y 22 mm de longitud, medido desde la cara escalada a 80 mm de diámetro	Torno Paralelo	Porta herramienta con plaquita rómbica C80	1500,00	349	300	0,073
4	Cilindrado interior con $\varnothing 31$ mm pasante a lo largo de la pieza	Torno Paralelo	Porta herramienta con plaquita rómbica C80	1500,00	146	300	0,1
5	Refrentado interno de $\varnothing 45$ mm de y 25 mm de longitud medido desde la escala de 80 mm	Torno Paralelo	Porta herramienta con plaquita rómbica C80	1500,00	212	300	0,166
6	Refrentado interno de $\varnothing 61,95$ mm y 16 mm de longitud medido desde la escala de $\varnothing 80$ mm	Torno Paralelo	Porta herramienta con plaquita rómbica C80	1500,00	292	300	0,12
7	Rectificado cilíndrico interior de agujero de $62_{0}^{0,019}$ mm por 16 mm de profundidad	Fresadora vertical	Soporte y piedra de rectificado $\varnothing 20 \times 20 \times 10$ mm, grano 220	19098	1200	5	
8	Refrentado interno de $\varnothing 56$ mm y 1 mm de longitud	Torno Paralelo	Porta herramienta con plaquita rómbica C80	1500,00	264	300	0,007
9	Taladrado y escariado de agujero de 11 mm de diámetro pasante, En cara externa de $\varnothing 120$ mm	Fresadora vertical	Broca helicoidal $\varnothing 11$ mm	1446,00	50	0,21	0,065

Pieza: Base móvil		Máquina usada	Herramienta	Datos de corte			
N°	Operación			n (rpm)	V (m/min)	S (mm/min)	t (min)
1	Fresado frontal periférico de guía para placas laterales de 70 x 3 mm y de 25 mm de profundidad	Rectificadora frontal	Fresa de punta cuadrada Ø 3 mm de doble hélice	7427,24	70	120	5,48
2	Ranurado de forma de cola de milano para guías laterales de 10 mm x 100 mm a 60°	Fresadora vertical	Fresa de cola de milano a 60° de 4 dientes	795,78	50	1,2	
3	Acabado de cola de milano de 60°	Fresadora vertical	Fresa de cola de milano a 60° de 4 dientes	954,93	60	0,4	
4	Fresado frontal de guía de chumacera eje excéntrico de 17 x 3 mm por 170 mm de largo	Fresadora vertical	Fresa de punta cuadrada Ø10 mm de doble hélice	2546,48	80	120	3
5	Fresado frontal de redondeo de R1,5 mm en guía de chumacera eje excéntrico de 170 mm de largo	Fresadora vertical	Fresa de punta esférica de R1,5 mm de doble hélice	10610,34	100	80	47,58
6	Ranurado de forma de cola de milano para chumacera eje excéntrico de 40 mm x 170 mm (cola de milano)	Fresadora vertical	Fresa de cola de milano a 60° de 4 dientes	795,78	50	1,2	0,71
7	Acabado de cola de milano de 60°	Fresadora vertical	Fresa de cola de milano a 60° de 4 dientes	954,93	60	0,4	0,89
8	Taladrado y roscado de agujero M8x1,25 mm por 19 mm de profundidad	Fresadora vertical	Broca-macho M8x1,25	1392,61	35	0,89	0,06
9	Taladrado, escariado de agujero de 6 mm de diámetro pasante	Fresadora vertical	Broca helicoidal Ø6 mm	3183,00	50	0,08	0,15
10	Avellanado de agujero de Ø6 mm a 90°	Fresadora vertical	Avellanador cónico de 90° de Ø6,3 mm	606,31	12	0,15	0,02

Pieza: Chumacera eje excéntrico		Máquina usada	Herramienta	Datos de corte			
N°	Operación			n (rpm)	V (m/min)	S (mm/min)	t (min)
1	Ranurado de forma de semicircunferencia de 70 mm de radio	Fresadora vertical					
2	Planeado frontal de agujero de Ø71,5 mm centrado, pasante por toda la placa	Fresadora vertical	Fresa de mango punta cuadrado de 71,5 mm	267,11	60	80	0,01
3	Brochado de agujero de $\varnothing 72^{+0,019}_0$ mm centrado, pasante por la placa	Brocha vertical	Brocha circular Ø72 mm		5		0,011
4	Taladrado y roscado de 4 agujero M8x1,5 mm por 19,5 mm de profundidad. Repetir operación para ambas caras de la placa	Fresadora vertical	Broca-macho M8x1,25	1392,61	35	0,89	0,06
5	Planeado frontal de 17 mm de ancho por 3 mm de profundidad para guía placa móvil	Fresadora vertical	Fresa de punta cuadrada Ø10 mm de doble hélice	2546,48	80	120	2,5
6	Redondeo de 1,5 mm de radio en extremos de guía para placa móvil	Fresadora vertical	Fresa de punta esférica de R1,5 mm de doble hélice	10610,34	100	80	39,33
7	Planeado periférico de 7,5 mm de ancho por 10 mm de profundidad para guías placas móvil, se repite operación para ambos lados de la guía	Fresadora vertical	Fresa de punta cuadrada Ø10 mm de doble hélice	1909,86	60	120	1,25
8	Ranurado de forma a 60° por 10 mm de profundidad en guía de placa móvil, se repite operación para ambos lados de la guía	Fresadora vertical	Fresa de cola de milano a 60° de 4 dientes	954,93	60	0,4	1,47
9	Acabado de cola de milano de 60°	Fresadora vertical	Fresa de cola de milano a 60° de 4 dientes	954,93	60	0,4	0,73

Pieza: Piezas móviles		Máquina usada	Herramienta	Datos de corte			
N°	Operación			n (rpm)	V (m/min)	S (mm/min)	t (min)
1	Taladrado de agujero de $\varnothing 28,5$ mm para posición de ejes de balanceo (2 agujeros)	Fresadora vertical	Broca helicoidal de $\varnothing 28,5$ mm	531	50	0,36	0,21
2	Brochado de agujeros de $\varnothing 29^{+0,013}_0$ mm (2 agujeros)	Fresadora vertical	Brocha circular $\varnothing 29$ mm		5		0,004
3	Planeado frontal de pestaña para tapa de rodamiento de $\varnothing 50$ mm por 5 mm de profundidad	Fresadora vertical	Fresa de punta cuadrada $\varnothing 25$ mm de doble hélice	763,94	60	120	4,27
4	Planeado frontal de pestaña para tapa de rodamiento de $\varnothing 50$ mm de acabado	Fresadora vertical	Fresa de punta cuadrada $\varnothing 25$ mm de doble hélice	1273,24	100	80	3,20
5	Taladrado basta de agujero de $\varnothing 56$ mm	Fresadora vertical	Fresa de punta cuadrada $\varnothing 25$ mm de doble hélice	763,94	60	120	2,37
6	Planeado periférico de agujero de rodamiento de cigüeñal de $\varnothing 62$ mm con pestaña de 4 mm de profundidad a $\varnothing 56$ mm en asiento de rodamiento	Fresadora horizontal	Fresa de punta cuadrada $\varnothing 25$ mm de doble hélice	763,94	60	120	2,77
7	Planeado periférico para acabado de agujero de rodamiento de cigüeñal de $\varnothing 62^{+0,019}_0$ mm con pestaña de 4 mm de profundidad a $\varnothing 56$ mm en asiento de rodamiento	Fresadora horizontal	Fresa de punta cuadrada $\varnothing 25$ mm de doble hélice	1273,24	100	80	4,16
8	Taladrado de agujero de $\varnothing 8,5$ mm pasante por el ancho de 70 mm, para sujeción de piezas móviles	Fresadora vertical	Broca helicoidal $\varnothing 8,5$ mm	1592	50	0,2	0,88
9	Taladrado y roscado de agujero para M5 x 1,25 mm por 12 mm de profundidad, para tapas de ejes de balanceo	Fresadora vertical	Broca-macho M5x1,25	17269,60	271,27	0,009	2,47
10	Taladrado de agujero de $\varnothing 15$ mm pasante	Fresadora vertical	Broca helicoidal $\varnothing 15$ mm	3183	50	0,08	0,16

Pieza: Eje excéntrico		Máquina usada	Herramienta	Datos de corte			
N°	Operación			n (rpm)	V (m/min)	S (mm/min)	t (min)
1	Cilindrado exterior de desbaste a $\varnothing 50,5$ mm, por una longitud del extremo izquierdo a derecho de 127,9 mm y de extremo derecho a izquierdo de 162,7 mm, dejando un vena de 9,5 mm de longitud con $\varnothing 54$ mm	Torno Paralelo	Porta herramienta con plaquita rómbica C80	954,93	150	334	0,87
2	Cilindrado exterior de acabado a $\varnothing 50,02$ mm, por una longitud de 47,7 mm	Torno Paralelo	Porta herramienta con plaquita rómbica C80	1273,24	200	162	0,29
3	Rectificado exterior a $\varnothing 50^{+0,012}_{-0,007}$ mm por una longitud de 40 mm	Torno Paralelo	Soporte y piedra de rectificado $\varnothing 20 \times 20 \times 10$ mm, grano 220				
4	Cambiar de posición de centro de corte de la pieza, desplazar el centro 5 mm, cilindrado exterior a $\varnothing 36$ mm por una longitud de 198,5 mm medida del extremo derecho al izquierdo	Torno Paralelo	Porta herramienta con plaquita rómbica C80	954,93	150	334	1,18
5	Cilindrado exterior de desbaste a $\varnothing 30,5$ mm, por una longitud de 136 mm medido del extremo izquierdo a derecho	Torno Paralelo	Porta herramienta con plaquita rómbica C80	954,93	150	334	0,41
6	Cilindrado exterior de acabado a $\varnothing 30,02$ mm, por una longitud de 136 mm medido del extremo izquierdo a derecho	Torno Paralelo	Porta herramienta con plaquita rómbica C80	1273,24	200	162	0,84
7	Rectificado exterior a $\varnothing 30^{+0,011}_{-0,005}$ mm por una longitud de 136 mm	Torno Paralelo	Soporte y piedra de rectificado $\varnothing 20 \times 20 \times 10$ mm, grano 220				
8	Cilindrado exterior a $\varnothing 36$ mm por una longitud de 77,5 mm medida del extremo izquierdo a derecho	Torno Paralelo	Porta herramienta con plaquita rómbica C80	954,93	150	334	0,46

Pieza: Eje excéntrico		Máquina usada	Herramienta	Datos de corte			
N°	Operación			n (rpm)	V (m/min)	S (mm/min)	t (min)
9	Cilindrado exterior de desbaste a $\varnothing 30$ mm, por una longitud de 15 mm medido del extrema derecho al izquierdo	Torno Paralelo	Porta herramienta con plaquita rómbica C80	954,93	150	334	0,05
10	Cilindrado exterior de acabado a $\varnothing 30,02$ mm, por una longitud de 16 mm	Torno Paralelo	Porta herramienta con plaquita rómbica C80	1273,24	200	162	0,09
11	Rectificado exterior a $\varnothing 30^{+0,011}_{-0,005}$ mm por una longitud de 16 mm	Torno Paralelo	Soporte y piedra de rectificado $\varnothing 20 \times 20 \times 10$ mm, grano 220				
12	Cambiar la posición de centro de la pieza 5 mm, para obtener la posición del eje inicial, ubicar la herramienta en la escala de $\varnothing 50$ mm y realizar trozado a $\varnothing 47$ mm, con un espesor de 2,15, iniciando a 6,35 mm de la cara izquierda de la escala del eje	Torno Paralelo	Porta herramienta con inserto de t= 2 mm	763,94	120	76	0,05
13	Chaflán de aristas en diámetros de $\varnothing 54$ mm, $\varnothing 50$ mm, $\varnothing 36$ mm y $\varnothing 30$ mm de 1 mm x 45° redondeo de aristas internas con R de 1 mm	Torno Paralelo	Porta herramienta con plaquita rómbica C80	1178,92	200	162	0,04
14	Redondeo de aristas internas con radio de 1 mm en $\varnothing 50$ mm, $\varnothing 36$ mm y $\varnothing 30$ mm	Torno Paralelo	Porta herramienta con plaquita rómbica C80	1273,24	200	162	0,04